MANUEL
DE
L'EXPLORATEUR



MANUEL

DE

L'EXPLORATEUR

MANUEL

DE

L'EXPLORATEUR.



25662 PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
55, quai des Grands-Augustins, 55.

MANUEL

DE

L'EXPLORATEUR

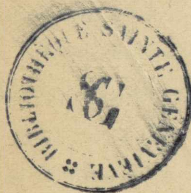
PROCÉDÉS DE LEVERS RAPIDES ET DE DÉTAIL ;

DÉTERMINATION ASTRONOMIQUE DES POSITIONS GÉOGRAPHIQUES ;

PAR

E. BLIM,
Ancien Élève de l'École Polytechnique,
Ingénieur-Chef du service
des Ponts et Chaussées en Cochinchine.

M. ROLLET DE L'ISLE,
Ingénieur hydrographe
de la Marine.







PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1899

AVANT-PROPOS

Depuis quelques années un mouvement indiscutable se produit vers les expéditions lointaines. Les Pouvoirs publics ont encouragé cette disposition en organisant de nombreuses missions d'exploration et en créant, à la Sorbonne, une chaire de Géographie coloniale. Le nombre de ceux qui sont appelés ainsi à contribuer à l'expansion territoriale de la France et à la connaissance géographique des pays inexplorés augmente donc chaque jour.

Mais lorsque, avant son départ, le voyageur cherche à se rendre compte des méthodes qu'il aura à appliquer, pour rapporter des renseignements exacts et utiles au point de vue géographique, il se trouve en présence d'un nombre considérable de Traités spéciaux. Ces Ouvrages, généralement très bien faits, en accumulant les descriptions des procédés applicables dans tous les cas qui peuvent se présenter, ne

permettent pas, sans une étude parfois longue et approfondie, de se tracer rapidement une ligne de conduite simple et facile à suivre.

Nous avons précisément voulu donner, dans ce *Manuel,* sous une forme aussi claire et aussi élémentaire que possible, les notions indispensables à celui qui, tout en marchant vers un but déterminé par des considérations parfois étrangères à la Géographie, veut recueillir les éléments d'une représentation exacte de ce qu'il aura vu sur sa route.

L'explorateur n'a, le plus souvent, ni le temps ni les moyens de faire un lever complet et détaillé du pays qu'il parcourt. Les méthodes que nous donnons ne pourraient pas lui servir dans ce cas, mais, en les appliquant judicieusement, il sera certain de contribuer utilement au progrès de la Géographie.

Il suffit, pour comprendre ce *Manuel,* d'avoir quelques notions de Géométrie élémentaire et de Trigonométrie. Nous avons systématiquement écarté tout ce qui avait un caractère scientifique trop accentué. En développant, au contraire, la partie pratique et en multipliant les détails relatifs à l'application des méthodes, nous avons essayé de faire profiter les explorateurs novices de l'expérience acquise par leurs devanciers au prix de mécomptes

nombreux et parfois pénibles, que nous serions heureux de leur éviter.

Au point de vue des observations astronomiques, nous n'avons expliqué que l'emploi du théodolite à l'exclusion complète du sextant. C'est que, en effet, il faut une certaine habileté, qui ne s'acquiert qu'avec le temps, pour obtenir par le maniement de ce dernier des résultats comparables à ceux que peut donner facilement le théodolite. En décrivant l'emploi du sextant nous n'aurions rien appris à ceux qui, comme les officiers de marine, en font un usage courant, et nous aurions compliqué, inutilement à notre avis, ce *Manuel* destiné aux débutants.

Les Chapitres relatifs aux *Procédés de levers rapides et de détail* ont été rédigés par M. Blim; ceux qui sont relatifs à la *Détermination astronomique des positions géographiques* par M. Rollet de l'Isle.

MANUEL

DE

L'EXPLORATEUR.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

L'explorateur doit se proposer, au point de vue géographique, de rapporter une représentation aussi exacte que possible de sa route et des détails du terrain qu'il aura pu apercevoir en la parcourant.

Il ne peut être question pour lui, en raison du temps et des moyens dont il dispose généralement, d'obtenir un lever détaillé, continu, du pays qu'il aura traversé. Il pourra cependant, dans le cas où une petite partie de ce pays présenterait un intérêt tout spécial, y séjourner assez longtemps pour en faire un lever plus exact, et nous examinerons spécialement ce cas. Mais, dans les circonstances habituelles, il ne pourra employer que des méthodes simples et expéditives lui donnant une

représentation du terrain, qui, sans être rigoureusement exacte, sera néanmoins suffisante.

Ce sont ces méthodes que nous allons exposer.

Dans le Chapitre I : *Procédés de levers rapides,* nous donnons les méthodes qui permettront à l'explorateur d'obtenir une représentation approchée de la route suivie et des détails du terrain qui l'entourent immédiatement et qu'il peut apercevoir. Les incertitudes inhérentes à l'emploi de ces méthodes seules auraient bien vite accumulé les erreurs, et la Carte que l'on obtiendrait ainsi ne présenterait pas une garantie suffisante. Mais si l'on détermine les positions géographiques d'un certain nombre de points de la route par des observations astronomiques, on pourra, entre ces points convenablement espacés, faire cadrer les résultats obtenus par les procédés de levers rapides. Ainsi certaines erreurs de détail subsisteront certainement encore, mais l'ensemble du travail donnera une représentation suffisamment exacte de la réalité. Nous donnons, dans le Chapitre II, *Les méthodes de Détermination de la position géographique d'un point.*

CHAPITRE I.

PROCÉDÉS DE LEVERS RAPIDES.

§ I. — EXPOSÉ GÉNÉRAL DE LA MÉTHODE.

1. Pour pouvoir reporter sur une Carte la route suivie et les détails du terrain qui l'environnent, l'explorateur doit tout d'abord réunir les éléments qui lui permettront de tracer cette route. Il lui faut donc déterminer les directions successives de cette route et sa longueur suivant chacune de ces directions. Pour dessiner la forme du terrain parcouru, il lui sera nécessaire également d'avoir les altitudes successives par lesquelles il est passé. Enfin, il devra déterminer la position, par rapport à la route suivie, des points intéressants qui l'environnent et leur altitude si cela est possible.

Il obtiendra tous ces renseignements au moyen d'un certain nombre d'instruments, aussi simples et aussi portatifs que possible et dont l'observation ne nécessite pas d'arrêt prolongé.

Il nous faut ici distinguer deux cas : ou bien l'explorateur suit une route à terre et il opère alors ce qu'on appelle un *lever d'itinéraire*, ou bien il suit un cours

d'eau en embarcation et fait alors un *lever de cours d'eau*. Nous étudierons particulièrement plus loin le cas où l'explorateur fait un *lever de détail* d'une partie intéressante du terrain rencontrée sur sa route.

Dans le premier cas, il doit disposer d'instruments lui donnant :

1° La distance parcourue;

2° La direction de la route parcourue ou son orientement;

3° Les altitudes par lesquelles il est passé;

4° La position et l'altitude des points voisins de la route.

Dans le second cas, les première, deuxième et quatrième espèces d'instruments lui serviront également, légèrement modifiés.

Nous décrirons d'abord ces instruments et leur emploi. Nous donnerons ensuite les méthodes qui permettent de les utiliser dans les levers d'itinéraires ou les levers de cours d'eau.

Enfin, nous exposerons la manière d'obtenir une *rédaction* du lever, en utilisant les renseignements recueillis sur le terrain, et qui doit être autant que possible faite sur les lieux mêmes d'opération.

§ II. — INSTRUMENTS.

I. — Mesure des distances parcourues.

2. **Dans les levers d'itinéraires.** — La mesure des distances parcourues se fait en comptant le nombre de pas. Si l'on connaît la longueur du pas, il suffit de multiplier cette longueur par le nombre précédent pour avoir la distance parcourue.

Il nous faut donc connaître :

1° La longueur du pas.

2° Le nombre de pas que l'on a faits pour parcourir la distance.

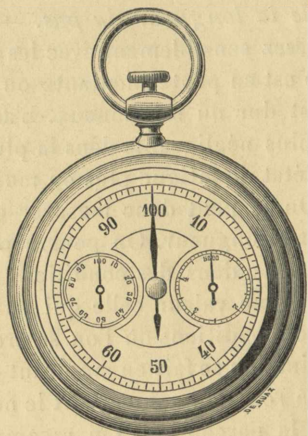
3. *Mesure de la longueur du pas.* — La longueur du pas varie assez sensiblement avec les conditions de la route, si elle est en pente montante ou descendante, si le terrain est dur ou sablonneux. L'action du vent n'est pas non plus négligeable dans la plupart des cas, de même que l'état de fatigue plus ou moins grande de l'explorateur. On ne peut donc mesurer qu'une valeur moyenne de cette longueur. On pourra pourtant multiplier cette mesure dans des conditions différentes et l'on adoptera comme valeur celle qui paraîtra la plus probable dans les conditions où l'on se trouvera placé.

Cette détermination se fait en mesurant sur le terrain une longueur de 100^m et en comptant le nombre de pas que l'on fait en la parcourant. On recommencera plusieurs fois cette expérience et l'on obtiendra la longueur du pas en divisant 100^m par la moyenne des nombres obtenus.

4. *Instruments donnant le nombre de pas.* — L'explorateur ne peut s'astreindre à compter mentalement le nombre de pas. En plus des erreurs possibles, c'est là un travail fatigant, nécessitant une attention soutenue au détriment de celle que l'on doit apporter au lever des détails environnant la route.

Il vaudra donc mieux employer soit des *podomètres* qui donnent immédiatement en mètres la distance parcourue, soit des *compte-pas*. Ces deux instruments sont construits suivant le même principe, mais nous ne préconisons pas l'emploi des premiers qui doivent être soumis à un réglage préalable assez délicat et se dérangent souvent au cours du voyage. Il vaut mieux adopter

Fig. 1.



les compte-pas (*fig.* 1), dont la construction plus simple et plus robuste résiste mieux.

Le principe de cet instrument est le suivant : un levier, équilibré par un ressort, actionne une roue dentée à chaque pas. Une grande aiguille, fixée dans l'axe de la roue, fait sur le cadran un tour complet au bout de 100 pas. Deux autres aiguilles, mues par des systèmes d'engrenages, enregistrent sur des cadrans plus petits les nombres de centaines et de milliers de pas.

L'instrument a la forme d'une montre et doit se porter dans le gousset ou dans la ceinture, bien appliqué au corps, de manière à n'enregistrer que les mouvements de la marche et non les oscillations accidentelles qui se produisent lorsque l'appareil est simplement pendu à la boutonnière.

Il est bon de porter sur soi deux ou trois compte-pas et de prendre, s'il y a divergence entre elles, la moyenne de leurs indications.

5. **Dans les levers de cours d'eau.** — Si l'on connaît la vitesse de l'embarcation, il suffit de mesurer le temps que l'on emploie à parcourir une distance pour en déduire cette distance. Elle sera égale au produit de la vitesse, c'est-à-dire de l'espace parcouru en une seconde par le temps exprimé en secondes.

6. *Mesure de la vitesse de l'embarcation.* — Pour mesurer la vitesse, on choisit une portion de rive à peu près droite et ayant au moins 200^{m} de longueur. On marque par deux jalons ses extrémités et l'on mesure la distance de ces jalons aussi exactement que possible, à l'aide de la chaîne d'arpenteur dont nous expliquons plus loin l'usage [*voir* dans le *Lever de détail* (Mesure de la base)].

Après avoir placé l'embarcation dans les conditions d'armement et de chargement qu'elle présentera en cours de route, on parcourt à diverses reprises la distance qui sépare les deux jalons.

On note les heures, minutes, secondes et fractions de seconde de la montre au moment du passage au droit du premier et du second jalon. On fait la différence de ces heures en secondes. Les chiffres ainsi obtenus seront sensiblement les mêmes et l'on adoptera, comme valeur de la vitesse en mètres par seconde, le quotient de la division de la distance des deux jalons par la moyenne des différences.

Cette manière de faire suppose que le moteur donne constamment la même vitesse. Lorsqu'il s'agit de rameurs, on peut remplir à peu de chose près cette condition, grâce à une active surveillance et en multipliant les repos d'une façon convenable.

Mais si le transport se fait en canot à vapeur, les variations de la pression dans le générateur influent sur le nombre de tours de l'arbre de couche par minute et par suite sur la vitesse.

On fera, dans ce cas, une série d'expériences de parcours de la base, en réglant l'admission de la vapeur de façon à donner chaque fois un nombre de tours différent, depuis la vitesse normale jusqu'à la vitesse minima.

De ces résultats on déduira facilement un Tableau donnant la vitesse en mètres par seconde correspondant au nombre de tours par minute.

On aura soin de prescrire au mécanicien d'enregistrer dans le courant du lever, à intervalles réguliers et aux changements de pression, les nombres de tours par mi-

nute donnés par le moteur. On pourra ainsi appliquer chaque fois, à la mesure de la distance parcourue, la vitesse convenable.

7. Il est évident que, dans tous les cas, la vitesse ainsi mesurée ne donne qu'une approximation. Le courant qui se modifie parfois assez rapidement, le vent surtout qui peut, soit pousser l'embarcation, soit la retarder, agissent très notablement sur la vitesse. En ce qui concerne particulièrement le courant, il faudra recommencer les déterminations de vitesse lorsque l'on rencontrera une partie de cours d'eau où le régime de ce courant aura notablement varié depuis la dernière détermination.

8. On parcourra d'ailleurs la distance des deux jalons en descendant puis en remontant le courant, si toutefois cette dernière opération est possible. Nous donnons ici un modèle de la détermination de la vitesse d'une embarcation par cette méthode.

Détermination de la vitesse de l'embarcation.

Longueur de la base = 200^{m}.

A LA MONTÉE.		A LA DESCENTE.	
HEURES.	DIFFÉRENCES.	HEURES.	DIFFÉRENCES.
h m s 8. 3.15,0 5.15,3	s 120,3	h m s 8.07.32,5 08.45,9	73,4
8.10.18,2 12.19,7	121,5	8.13.45,2 14.58,0	72,8
8.15.47,2 17.51,2	124,0	8.19.03,5 20.16,6	73,1
8.22.11,2 24.13,2	122,0	8.25.45,1 26.57,8	72,7
8.28. 2,3 30. 2,5	120,2	8.31.32,2 32.45,2	73,0
Somme.......	608,0	Somme.......	365,0
$\frac{\text{Somme}}{5}$.......	121,6	$\frac{\text{Somme}}{5}$.......	73,0

$v = \frac{200}{121,6} = 1^{m},64$ à la montée. $v' = \frac{200}{73,0} = 2^{m},74$ à la descente.

9. Généralement, les levers de cours d'eau se font d'aval en amont, c'est-à-dire à contre-courant; la vitesse étant alors moins grande, l'explorateur dispose de plus de temps pour l'étude des détails environnants. Il

est vrai que, dans ce cas, lorsque l'on navigue à l'aviron ou à la pagaie, la vitesse a bien moins de chances de rester constante et égale à la moyenne des expériences, car elle varie, surtout à la fin des étapes, avec la fatigue croissante des rameurs.

Lorsque le lever se fait d'amont en aval, c'est-à-dire dans le sens du courant, la vitesse du déplacement devient plus grande et, pour peu que le cours d'eau présente de nombreux coudes, la difficulté de voir la direction de la route et de noter les heures des changements de direction, opérations qui se succèdent alors à des intervalles très rapprochés, demandent une habileté consommée de la part de l'explorateur. Par contre, la vitesse à la descente est beaucoup plus constante et presque indépendante de la fatigue des hommes. A ce point de vue, le lever aurait des chances d'offrir plus d'exactitude.

10. Dans le cas tout particulier où l'explorateur peut redescendre le cours d'eau qu'il a levé à la montée, il existe un moyen simple de rectifier la vitesse moyenne employée dans l'évaluation des distances pour la première opération et, par suite, de rendre plus exact le calcul de la longueur parcourue.

Nous voyons, en effet, par le Tableau précédent, que les expériences de vitesse ne présentent pas de grandes différences lorsque l'on descend le cours d'eau; tandis qu'au contraire, en remontant le courant, les écarts sont plus sensibles.

On déterminera donc, en enregistrant les heures de départ et d'arrivée, le temps total en secondes : t de la descente. D'un autre côté, la somme des secondes em-

ployées à parcourir chaque alignement à la montée donnera le temps total T de la montée. Si alors v' est la vitesse des expériences à la descente de la base, la vitesse moyenne x à la montée, que l'on adoptera dans les calculs, se déduira de la formule $x = v' \frac{t}{T}$.

II. — Orientement de la route parcourue.

11. Dans les levers d'itinéraires. — *Boussole.* — L'orientement de la route est l'angle que fait la direction de cette route avec celle du Nord. L'instrument qui permet d'obtenir cet angle est la *boussole.*

L'emploi de la boussole dans les levers en marche est motivé par l'avantage que comporte cet instrument de donner les directions suivies indépendamment les unes des autres. Les orientements successifs de la route pouvant être entachés d'erreurs, celles-ci ne suivront aucune loi déterminée et pourront se compenser en partie.

Les boussoles en usage dans les levers d'itinéraires devront être éminemment portatives. Le modèle à adopter est celui que nous allons décrire.

L'instrument se compose (*fig.* 2) d'une cuvette cylyndrique de 6 à 7^{cm} de diamètre fermée par un verre. Au centre pivote une aiguille aimantée dont la moitié est colorée en bleu. C'est cette extrémité de l'aiguille qui se dirige vers le Nord.

Sur la circonférence de la cuvette est placé un cercle gradué de 0° à 360°, les chiffres allant en croissant dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre (*fig.* 3). Les quatre points cardinaux ainsi que douze directions intermédiaires sont indiqués à l'intérieur de la gradua-

Fig. 2.

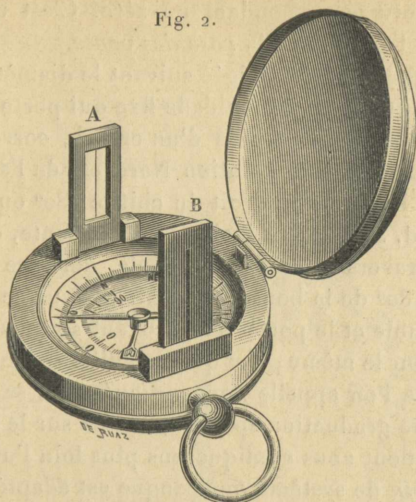
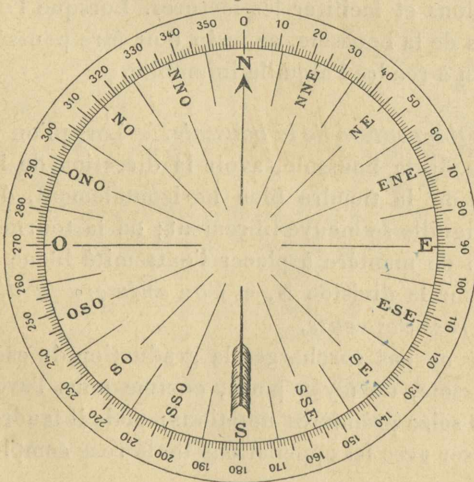

A
B
DE RUAZ

Fig. 3.


N
NNE
NE
ENE
E
ESE
SE
SSE
S
SSO
SO
OSO
O
ONO
NO
NNO
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350

tion, le Nord correspondant au zéro. C'est une partie de ce que l'on nomme la *rose des vents*.

Une ligne de visée dirigée suivant le diamètre 0°-180° est déterminée par une alidade fixe qui porte d'un côté une pinnule évidée munie d'un crin A, correspondant au chiffre 0 ou à la notation Nord et, de l'autre côté, une fente B placée au droit du chiffre 180° ou de la notation Sud. Si, plaçant l'œil près de la fente, on voit un point à travers la seconde pinnule, derrière le crin, la ligne 0°-180° de la boussole est dirigée sur ce point.

La pinnule et le porte-crin peuvent se rabattre sur le cadran. Sur le même pivot que l'aiguille se meut un petit index que l'on appelle *perpendicule,* qui se déplace le long d'une graduation spéciale, tracée sur le fond de la boîte, et dont nous expliquerons plus loin l'usage.

Un *frein* de système quelconque est adapté en dessus de l'aiguille aimantée pour pouvoir en modérer les oscillations et faciliter les lectures. Lorsque l'on ne se sert pas de la boussole, ce frein doit être poussé à bloc de façon à rendre l'aiguille immobile.

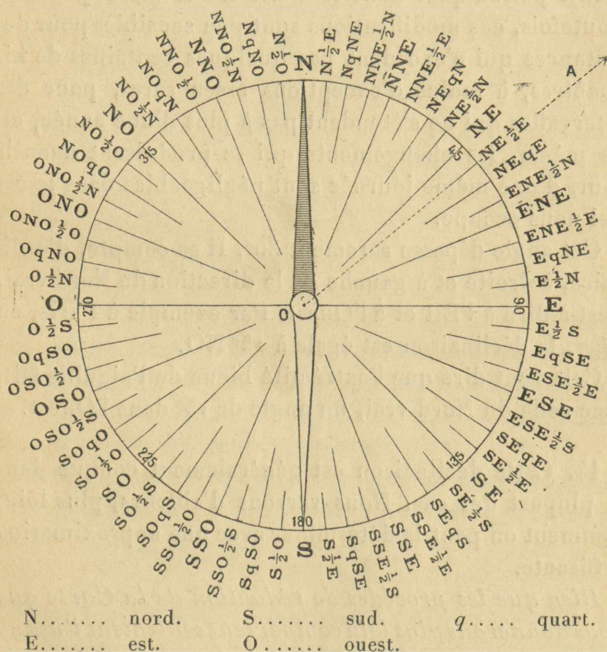
12. *Observation de la boussole.* — Lorsqu'on voudra, à l'aide de la boussole, avoir la direction de la route suivie, on la tiendra bien horizontalement, de façon que l'aiguille se meuve librement; on la tournera dans la main de manière à placer l'extrémité bleue de l'aiguille sur la division N, et *l'on estimera la direction sur la rose des vents.*

Pour ne pas surcharger la graduation du cadran de la boussole, on n'y a porté, comme nous l'avons dit, que les seize premières notations; mais il faudra se familiariser avec les appellations de la rose complète, qui

divisent la circonférence en 64 parties égales et que l'on trouvera dans le modèle suivant (*fig.* 4).

Supposons que la direction estimée soit OA, cela voudra dire que la route fait, avec la direction qu'indique l'extrémité bleue de l'aiguille, un angle qui répond à la division NE $\frac{1}{2}$ E de la rose.

Fig. 4.



N.......	nord.	S.......	sud.	*q*.....	quart.
E.......	est.	O......	ouest.		

Si donc l'extrémité bleue de l'aiguille se dirigeait vers le Nord vrai, on aurait, par cette seule observation, l'orientement de la route.

13. *Déclinaison.* — Mais il n'en est pas ainsi, et l'on appelle *déclinaison* l'angle que fait la direction du *Nord vrai,* celle du pôle nord de la Terre, avec la direction de l'extrémité bleue de l'aiguille, qui est celle du *Nord magnétique.*

Cet angle n'est pas absolument constant; il varie avec les lieux, avec les siècles et, de plus, subit des changements périodiques dans le cours d'une même journée. Toutefois, ces modifications sont peu sensibles pour des distances qui n'excèdent pas quelques centaines de kilomètres, à moins d'exceptions assez rares, pour des intervalles qui ne s'étendent pas à plus d'une année, et, de même, les changements qui se produisent dans le cours d'une même journée sont négligeables dans le cas qui nous occupe.

Cet angle dépasse rarement 30°. Il se compte, d'ordinaire, à droite et à gauche de la direction du Nord vrai, c'est-à-dire à l'Est et à l'Ouest. Par exemple à Paris, en 1897, la déclinaison est égale à 15° NO.

Cela veut dire que l'extrémité bleue de l'aiguille fait, avec celle du Nord vrai, un angle de 15° dans l'Ouest.

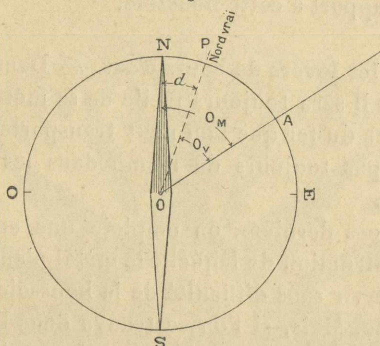
14. Cette déclinaison est généralement connue dans la plupart des cas. Nous verrons d'ailleurs, plus loin, comment on peut la déterminer avec une approximation suffisante.

Bien que les procédés de rédaction de la Carte que nous donnerons plus loin comportent seulement l'usage des orientements observés, c'est-à-dire magnétiques de la route et que, par suite, il soit inutile de les corriger de la déclinaison, pour en déduire les orientements vrais, nous allons donner la manière de faire cette correction,

pour le cas particulier où l'on voudrait cependant avoir ces orientements vrais.

Supposons (*fig.* 5) que la déclinaison soit ouest et égale à *d*. La direction du Nord vrai sera OP, telle que

Fig. 5.



cette droite fasse, à droite de l'extrémité bleue de l'aiguille, un angle *d*. La lecture, estimée sur la boussole, de la direction OA de la route nous a donné une division de la rose des vents ou *aire de vent*.

Prenons, sur la *fig.* 4, le nombre de degrés qui lui correspond, et soit O_M ce nombre. Nous cherchons O_V et l'on a

$$O_V = O_M - d.$$

Pour avoir l'orientement vrai, il faut donc retrancher de l'orientement observé la déclinaison, si elle est Ouest; on démontrerait aussi simplement qu'il faut l'ajouter si elle est Est.

Ayant en degrés cet orientement vrai, on retrouve, sur la *fig.* 4, l'aire de vent correspondante.

15. Le fer agit sur l'aiguille aimantée et modifie sa direction. Il faudra donc, pour que les observations ne soient pas entachées d'erreurs, éviter d'approcher de la boussole une masse de fer quelconque même si, dans la suite, elle devait garder une position à peu près constante par rapport à cette boussole.

16. **Dans les levers de cours d'eau.** — Dans les levers d'itinéraires il sera toujours facile de se mettre à l'abri de l'influence du fer que l'on peut transporter avec soi. Il n'en est pas toujours de même dans les levers de cours d'eau.

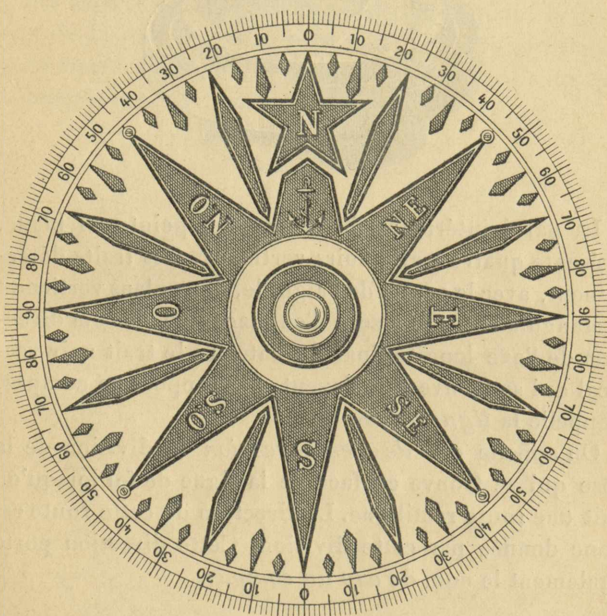
Si, pour ces derniers, on emploie une embarcation dans la construction de laquelle le métal n'entre pas, on pourra se servir sans difficulté de la boussole que nous avons décrite. Mais, si l'on se trouve dans l'obligation de naviguer sur un bateau dont la coque et l'armement contiennent du fer, notre première boussole n'est plus pratique. Il faut alors un instrument à poste fixe et à alidade mobile : c'est celui que nous allons décrire.

17. *Compas de relèvement.* — Le *compas de relèvement* se compose généralement d'une aiguille aimantée affectant la forme d'un losange très allongé, dont le centre est muni d'une chape en rubis dans laquelle vient se loger une tige verticale, à bout de platine, qui sert de support. Une feuille de talc ou de carton léger, parfaitement circulaire et équilibrée, se colle sur l'aiguille, dont elle suit les mouvements et porte une graduation et une division conformes à la *fig.* 6. C'est ce qu'on appelle la *rose du compas*.

Il faut remarquer que la graduation est faite de 0° à

90° dans chaque quart de la circonférence ; les chiffres 0 correspondant au Nord et au Sud et les chiffres 90° à l'Est et à l'Ouest. Pour définir une direction de la rose on indique le nombre de degrés auquel elle correspond

Fig. 6.

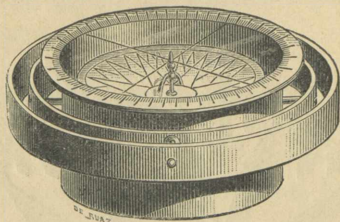


et on l'encadre des noms des caps cardinaux entre lesquels elle est comprise. Ainsi l'on dit le Nord 25° Est que l'on écrit N 25° E.

L'aiguille de la boussole et le système qui l'accompagne sont logés dans une boîte cylindrique en cuivre,

que l'on nomme *cuvette* (*fig.* 7). Le diamètre de la cuvette est légèrement plus grand que celui de la rose, et elle est fermée par deux glaces circulaires.

Fig. 7.



La paroi intérieure de la cuvette, peinte en blanc, présente quatre traits noirs verticaux. Ces traits déterminent, avec le centre de l'aiguille, deux plans verticaux rectangulaires. On a soin d'en placer un dans la direction de l'axe longitudinal du bateau : le trait noir vertical qui se trouve vers l'avant, par rapport au compas, s'appelle la *ligne de foi.*

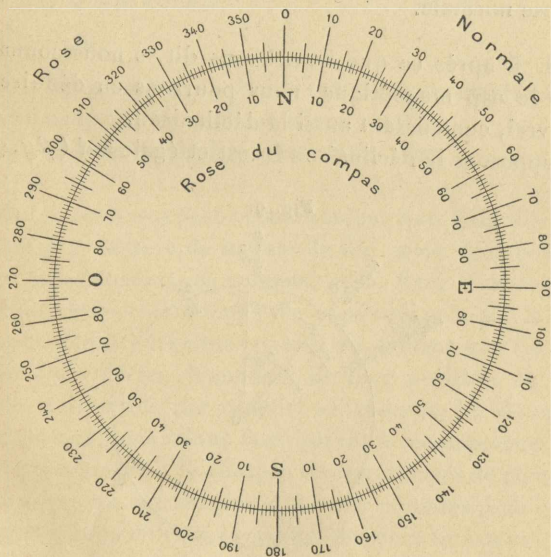
On appelle *cap de l'embarcation* la division de la rose qui se trouve en face de la ligne de foi lorsqu'on suit une route rectiligne. La direction de cette route est donc donnée par cette division. Cette direction porte également le nom de *cap au compas.*

18. *Régulation du compas.* — S'il n'y avait pas de fer agissant sur le compas, le Nord de la rose ferait, avec la direction du Nord vrai, un angle égal à la déclinaison magnétique. Dans ce cas la rose indiquerait un cap que l'on appelle le *cap magnétique.* Si le Nord de la rose était dirigé exactement vers le Nord vrai, la rose

indiquerait un autre cap, que l'on appelle le *cap vrai*, et il est évident que l'angle du cap magnétique et du cap vrai est égal à la déclinaison. Enfin, s'il y a dans le voisinage du compas des masses de fer agissant sur l'aiguille, la rose indique un cap différent des deux précédents et que nous avons appelé le *cap au compas*.

Les caps se lisent généralement en indiquant la division de la rose qui se trouve en face de la ligne de foi et en encadrant le chiffre des deux points cardinaux qui le comprennent. Ainsi S 23° E.

Fig. 8.



Pour déduire du cap au compas le cap vrai, il faut lui faire subir une série de corrections. Pour simplifier

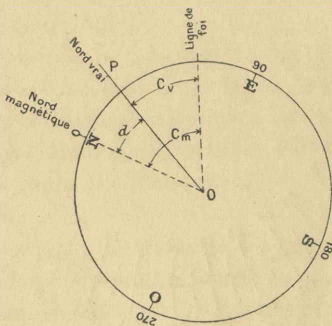
les calculs et les explications qui vont suivre, nous substituerons à la graduation de la rose une autre graduation, beaucoup plus rationnelle, allant de 0° à 360° du Nord vers l'Est, le Sud et l'Ouest. Cette substitution aurait avantage à être faite sur la rose elle-même, en y collant une bande de papier; mais, si elle est impossible à installer, on se servira de la *fig.* 8, qui donne de suite l'angle compté comme nous venons de le dire, en regard du chiffre lu sur la rose et réciproquement.

Dans ce qui va suivre, nous supposerons qu'il s'agit uniquement de la nouvelle rose, que nous appellerons la rose normale.

19. D'après ce que nous avons dit, s nous connaissons le cap magnétique, nous pourrons en déduire le cap vrai, connaissant aussi la déclinaison.

Supposons la déclinaison Ouest et égale à d (*fig.* 9).

Fig. 9.



Le cap au compas sera l'angle de la ligne de foi et de la direction du nord de la rose et ce sera aussi le cap

magnétique, puisque nous supposons qu'il n'y a pas de masse de fer agissant sur l'aiguille.

Appelons-le C_m. OP étant la direction du Nord vrai, déterminée par l'angle NOP $= d$, le cap vrai C_v sera l'angle de la ligne de foi avec cette direction. Or, on a

$$C_v = C_m - d.$$

Ainsi, *pour avoir le cap vrai, il faut retrancher du cap magnétique la déclinaison, si elle est Ouest.* On démontrerait aussi simplement que, *pour avoir le cap vrai, il faut ajouter au cap magnétique la déclinaison, si elle est Est.*

Exemple :

Le cap magnétique étant 175° (rose normale) et la déclinaison 5° NE, quel est le cap vrai?

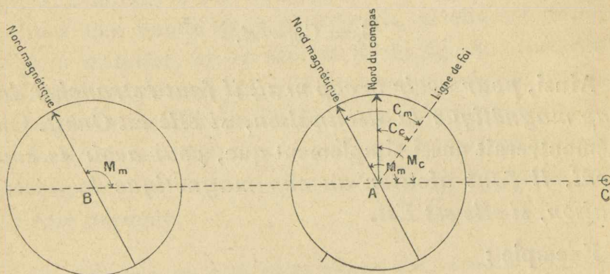
Le cap vrai est égal à $175° + 5° = 180°$.

20. Si nous supposons maintenant que l'aiguille soit soumise à l'action de masses de fer, mais dont la position, relativement au compas, reste fixe, il nous faut déterminer les corrections des caps indiqués par la rose pour en déduire les caps vrais. Il est évident que l'action des masses de fer dépendant de leur position en distance et direction par rapport au compas, les déterminations que nous allons faire seront à recommencer dès que ces masses ou le compas seront changés de place.

Puisque du cap magnétique nous pouvons déduire le cap vrai, le problème revient à chercher le cap magnétique correspondant à chaque cap au compas, ou, ce qui revient au même, la *déviation* qui est la différence de ces deux caps.

L'embarcation étant mouillée en A (*fig.* 10), on transporte le compas à terre en B, assez loin pour que le fer du bateau n'agisse pas sur lui, et on l'installe

Fig. 10.



dans l'alignement de la place qu'il doit occuper à bord et d'un point aussi éloigné que possible et bien net C. Ce point devra être choisi de façon qu'on le voie également du bateau. On vise alors ce point à l'aide de l'alidade de relèvement dont nous décrirons plus loin l'usage et que porte le compas, et on lit *sur la rose* la division à laquelle correspond l'alidade. C'est l'angle de la direction du point visé avec le Nord magnétique ou ce que l'on appelle son *azimut magnétique :* appelons-le M_m.

Retournant alors à bord, on vise de nouveau le point C et on lit *sur la rose* la direction de l'alidade. On a ainsi un angle M_c qui est l'angle du relèvement du point avec le nord du compas. S'il n'y avait pas de déviation, on aurait $M_m = M_c$. Mais le cap au compas est l'angle C_c que fait la ligne de foi avec le nord du compas et qu'on lit sur la rose, tandis que le cap magnétique se-

rait l'angle C_m que fait cette même ligne avec le Nord magnétique et l'on a évidemment

$$C_m - C_c = M_m - M_c;$$

d'où

$$C_m = C_c + (M_m - M_c).$$

Si maintenant nous faisons tourner l'embarcation au moyen d'amarres de façon à amener la ligne de foi en coïncidence avec les diverses divisions de la rose (on se contente généralement des divisions de 10° en 10°), c'est-à-dire si nous faisons varier le cap au compas et que, chaque fois, nous relevions le point C, les différences successives $M_m - M_c$ nous donneront les valeurs de la déviation qui correspondent à chacun de ces caps et, en ajoutant $M_m - M_c$ à chaque cap au compas, nous aurons le cap magnétique correspondant.

21. On disposera les observations et les résultats conformément au Tableau suivant. Nous y avons joint les divisions de la rose habituelle.

Azimut magnétique du point éloigné $M_m = 344 = N\,16^\circ O$ (*rose du compas*).

CAPS AU COMPAS = C_c.		AZIMUT DU POINT AU COMPAS = M_c.		$M_m - M_c$ ($M_m - 4$).	CAPS MAGNÉTIQUES = C_m.	
ROSE du compas. 1.	ROSE normale. 2.	ROSE du compas. 3.	ROSE normale. 4.	ROSE normale. 5.	ROSE normale. 6.	ROSE du compas. 7.
N	0	N 19,0	341	+ 3	3	N 3 E
N 10 E	10	22	338	+ 6	16	N 16 E
20	20	24,30	335,30	+ 8,30	28,30	28,30
30	30	25	335	+ 9	39	39
40	40	26,30	333,30	+10,30	50,30	50,30
50	50	27	333	+11	61	61
60	60	28	332	+12	72	72
70	70	27	333	+11	81	N 81 E
N 80 E	80	26,30	333,30	+10,30	90,30	S 89,30 E
E	90	25,30	334,30	+ 9,30	99,30	80,30
S 80 E	100	25	335	+ 9	109,30	70,30
70	110	24	336	+ 8	118	62
60	120	23,30	336,30	+ 7,30	127,30	52,30
50	130	22	338	+ 6	136	44
40	140	21	339	+ 5	145	35
30	150	19,30	340,30	+ 3,30	153,30	26,30
20	160	18,30	341,30	+ 2,30	162,30	13,30
S 10 E	170	19	341	+ 3	173	S 7 E
S	180	19,30	340,30	+ 3,30	183,30	S 3,30 O
S 10 O	190	21	339	+ 5	195	15
20	200	23	337	+ 7	207	27
30	210	23,30	336,30	+ 7,30	217,30	37,30
40	220	24	336	+ 8	228	48
50	230	22,30	337,30	+ 6,30	236,30	56,30
60	240	18	342	+ 2	242	62
70	250	15	345	— 1	249	69
S 80 O	260	13,30	346,30	— 2,30	257,30	77,30
O	270	11	349	— 5	265	S 85 O
N 80 E	280	11,30	348,30	— 4,30	275,30	N 84,30 O
70	290	12	348	— 4	286	74
60	300	11,30	348,30	— 4,30	295,30	64,30
50	310	10	350	— 6	304	56
40	320	11	349	— 5	315	45
30	330	12,30	347,30	— 3.30	326,30	33,30
20	340	14	346	— 2	338	22
N 10 O	350	16,30	343,30	+ 0,30	350,30	N 9,30 O
N	360	19	341	+ 3	3	N 3 E

En juxtaposant la première et la septième colonne, on aura en regard les caps au compas et les caps magnétiques correspondants.

Ce Tableau ne donne les caps au compas que de 10° en 10°; pour avoir, si l'on veut, un Tableau plus complet, de degré en degré par exemple, on intercalera neuf chiffres entre les chiffres successifs de la colonne 5 et l'on fera les soustractions des caps correspondants. Le Tableau suivant montre un exemple de cette manière de faire.

1.	2.	5.	6.	7.
N	0	+3	3	N 3 E
N 1 E	1	+3	4	N 4 E
2	2	+3,30	5,30	5,30
3	3	+4	7	7
4	4	+4	8	8
5	5	+4,30	9,30	9,30
6	6	+5	11	11
7	7	+5	12	12
8	8	+5.30	13,30	13,30
9	9	+6	15	15
N 10 E	10	+6	16	N 16 E

III. — Mesure des altitudes de la route parcourue.

22. Principe de la méthode. — La hauteur de la colonne mercurielle dans un baromètre à tube résulte de la pression exercée sur la surface de la cuvette par les

couches d'air supérieures et cette hauteur mesure la pression puisqu'à chaque instant il y a équilibre. Si donc on transporte le baromètre à des altitudes de plus en plus élevées, toutes les circonstances de pression atmosphérique restant les mêmes, la hauteur de la colonne mercurielle devra diminuer de tout le poids des couches d'air inférieures.

On pourra donc déduire la différence de niveau de deux stations de la différence des hauteurs barométriques observées en ces stations. Si l'on sait, par exemple, que lorsqu'on s'élève de A mètres (environ 13) la colonne mercurielle baisse de 1^{mm}, il suffira de multiplier le nombre de millimètres dont aura baissé cette colonne entre les deux stations par A pour avoir la différence de niveau en mètres.

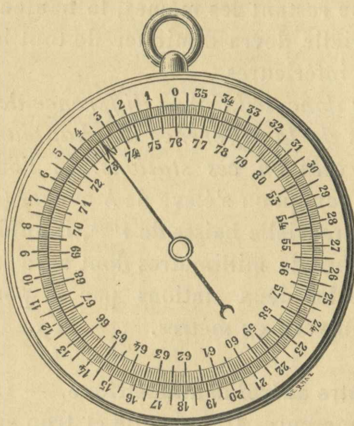
23. **Baromètre anéroïde altimétrique.** — L'emploi du baromètre à mercure, trop fragile et trop encombrant, doit être rejeté et l'on donnera la préférence au *baromètre anéroïde.*

L'organe essentiel de ce baromètre est une boîte métallique, à parois minces, affectant généralement une forme ronde assez plate, dont les fonds portent des cannelures concentriques. Au centre de cette boîte, un ressort antagoniste l'empêche de s'aplatir tout à fait lorsqu'on y fait le vide. Si la pression atmosphérique augmente, la boîte sera comprimée (les cannelures facilitant ce mouvement); si, au contraire, la pression diminue, la boîte tendra à se dilater (le ressort aidant au mouvement).

Au moyen d'un système de leviers ou d'engrenages, ces mouvements amplifiés sont communiqués à une ai-

guille qui se meut sur un cadran (*fig.* 11). Ce cadran porte deux graduations concentriques : la première in-

Fig. 11.



dique les millimètres de mercure, la seconde est destinée à faciliter les lectures des différences de niveau et est dite *orométrique* ou *altimétrique*.

Si, en effet, la différence des pressions lues sur la première graduation, quand on passe d'une station à l'autre, est de 1^{mm}, c'est, comme nous l'avons dit, que la différence de niveau est de A mètres. On peut donc, au lieu de lire le mouvement de l'aiguille sur cette première graduation, le lire sur une seconde faite de telle façon qu'une division de la première corresponde à A divisions de la seconde, et on lira directement la différence de niveau au lieu de lire la différence des pressions.

La graduation altimétrique comporte donc une division faite comme nous venons de le dire : on n'y a pas porté les divisions en mètres qui seraient trop petites, elle porte simplement une division en dizaines de mètres et en centaines de mètres.

Une vis de réglage permet de faire mouvoir l'aiguille et de la faire correspondre à une division quelconque.

24. Pour observer une différence de niveau, on commencera, étant à la première station, par lire la division indiquée par l'aiguille sur la graduation altimétrique; puis, se transportant à la seconde station, on lira, sur la même graduation, la nouvelle division qu'indique l'aiguille. La différence de ces deux lectures donnera la hauteur de cette seconde station par rapport à la première.

On peut obtenir, de la même façon, la hauteur absolue de la seconde station si, à la première, on a placé l'aiguille sur la division qui représente la hauteur de cette première station (hauteur que l'on compte toujours au-dessus du niveau moyen de la mer) si elle est connue.

Il n'est pas d'ailleurs nécessaire de connaître cette hauteur absolue de la première station. Il suffit, pour que le lever soit exact, que toutes les hauteurs observées soient rapportées à la même origine dont on déterminera ensuite la hauteur par des procédés plus précis, si on le juge convenable.

25. **Causes d'erreurs et corrections.** — La théorie complète du nivellement barométrique ne rentre pas dans le cadre de cet Ouvrage; nous nous bornerons à signaler les principales causes d'erreurs inhérentes à l'instrument.

D'abord, les divisions barométriques, dont on a déter-

miné la valeur sous la machine pneumatique, sont exactes pour une température moyenne (20° généralement). La variation de pression est influencée par la température et il est impossible de tenir compte de cette dernière pendant la marche.

Une seconde cause d'erreur est due à la paresse de l'aiguille qui fait que celle-ci, pour une pression donnée, ne prend sa position d'équilibre qu'au bout d'un certain temps variable avec chaque instrument. Enfin les irrégularités des engrenages qui transmettent les mouvements de la boîte à l'aiguille faussent encore ses indications.

Ces causes d'erreur, dont les influences ont été déterminées par un grand nombre d'expériences, ne permettent d'obtenir, avec de bons instruments, les différences de niveau entre deux stations qu'avec une approximation qui a été trouvée égale à 3^{m} plus 4 ou 5 centièmes de la différence de niveau vraie.

26. Mais ce degré d'exactitude ne peut être atteint qu'à la condition de prendre quelques précautions essentielles.

Les lectures devront toujours être faites en tenant le baromètre de la même manière, car les indications sont différentes suivant que l'on tient l'instrument à plat ou verticalement.

On devra de préférence le tenir à plat et, avant de faire la lecture, donner quelques coups d'ongle sur la boîte, pour vaincre en partie la paresse de l'aiguille.

En second lieu, il faudra tenir compte des variations régulières qu'éprouve la pression barométrique pendant le cours d'une journée.

Si, à des intervalles régulièrement espacés, on enregistre les indications d'un baromètre, on obtient des quantités qui, toutes perturbations mises à part, suivent une loi assez régulière. On reconnaît que ces variations oscillent, pendant une durée de vingt-quatre heures, entre deux maxima et deux minima et l'on donne le nom de *marée barométrique* à ces mouvements périodiques.

Dans nos climats le premier minimum a lieu vers 4^h du matin; la pression remonte jusque vers 9^h puis redescend jusqu'aux environs de 4^h du soir pour remonter jusqu'à 9^h et décroître de nouveau jusqu'à 4^h du matin du jour suivant.

L'amplitude du mouvement ne dépasse généralement pas 3^{mm}. On peut donc dire que, suivant le moment de la journée auquel on observe le baromètre, l'altitude du point où l'on se trouve, lue au baromètre, peut différer de 40^m environ de l'altitude vraie.

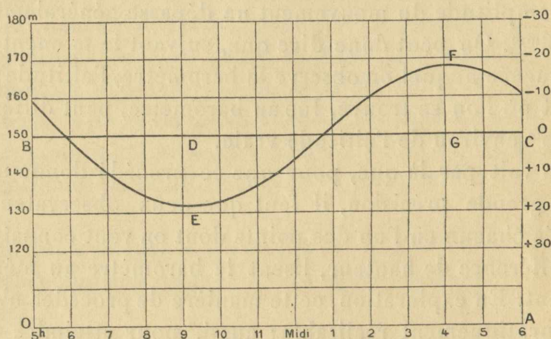
On voit par là que, pour que ce procédé donne une très grande précision, il faut que deux observateurs, placés chacun en l'un des points dont on veut connaître la différence de hauteur, lisent le baromètre au même instant. En exploration, cette manière de procéder n'est pas pratiquement réalisable; aussi, pour atteindre un degré de précision suffisant, se servira-t-on de l'étude des variations régulières de la pression dont nous avons parlé.

On commencera par tracer la courbe de ces variations. Pour cela, on observera, pendant une journée de beau temps, les indications du baromètre de demi-heure en demi-heure, de 5^h du matin à 6^h du soir. On aura soin de lire ces indications sur la graduation altimétrique. On aura ainsi les variations des chiffres qui re-

présentent l'altitude observée du point pendant le cours de la journée.

Pour construire la courbe de ces variations, on prendra une feuille de papier quadrillé. On indiquera sur une ligne horizontale OA des divisions équidistantes représentant les heures des observations. Sur chacune des verticales passant par ces points on portera une longueur représentant la lecture faite sur la division altimétrique au même instant (*fig.* 12). On aura une courbe analogue à celle de la figure en joignant par un trait

Fig. 12.



continu les extrémités de ces verticales. En faisant les mêmes observations pendant plusieurs jours de suite, on aura une série de courbes et l'on tracera enfin une moyenne entre celles-ci.

Supposons que nous adoptions, comme véritables valeurs des altitudes observées, celles que l'on aurait partout observées à 6^h du matin. A cet effet, à la station de départ, dont l'altitude vraie est connue, nous placerons

à 6^h du matin, au moyen de la vis de réglage, l'aiguille sur la division altimétrique correspondant à cette altitude, et à partir de ce moment nous ne toucherons plus à la vis pendant le reste du voyage. Traçons la ligne horizontale qui passe par l'intersection de la courbe avec la verticale de 6^h du matin, soit CB. Si, en un point, nous avons fait une observation à 10^h du matin, par exemple, la hauteur lue différera de celle que nous y aurions faite à 6^h du matin de la hauteur ED. Pour ramener cette lecture à ce qu'elle doit être il faut donc y ajouter cette hauteur ED. Au contraire, si nous avons fait l'observation à 4^h du soir, il faudra en retrancher la hauteur GF. *Donc, pour ramener une observation à sa valeur véritable adoptée, il faut la corriger de la distance de la courbe à* BC, *mesurée sur l'échelle des hauteurs, en ajoutant cette distance si le point de la courbe qui se trouve sur la verticale de l'heure de l'observation est au-dessous de* CD *et en la retranchant s'il est au-dessus.* On remplacera donc les chiffres de la graduation qui a servi à tracer la courbe par d'autres partant de o sur la ligne CD et allant en croissant vers le haut et vers le bas.

27. Dans un lever d'itinéraire on partage généralement la route, au point de vue altimétrique, en une série de sections ayant chacune pour origine une station de cette route. Toutes les altitudes de chaque section sont ainsi rapportées à celle de la station origine; on les corrigera comme nous venons de le dire, cette correction s'appliquant également à l'origine.

Si, après avoir parcouru un certain nombre de ces sections, on arrive en un point dont l'altitude est connue,

on comparera cette altitude à celle déduite du baromètre. Il y aura généralement divergence. On répartira alors cette différence sur les altitudes des origines intermédiaires, proportionnellement au temps écoulé entre les heures des stations à ces origines, ce qui conduira à modifier ensuite de quantités constantes les altitudes rapportées à ces origines.

28. Il est essentiel de ne pas faire d'observations pendant les mauvais temps, car on s'exposerait à donner des renseignements erronés. Généralement, d'ailleurs, pendant ces périodes de troubles atmosphériques le travail est suspendu. Dans les pays tropicaux, où les ouragans sont fréquents durant la saison pluvieuse, les baisses énormes qu'enregistre le baromètre ne subsistent pas longtemps après la fin du phénomène. On peut admettre qu'une heure après la pluie qui accompagne toujours les orages l'aiguille est revenue à sa position normale.

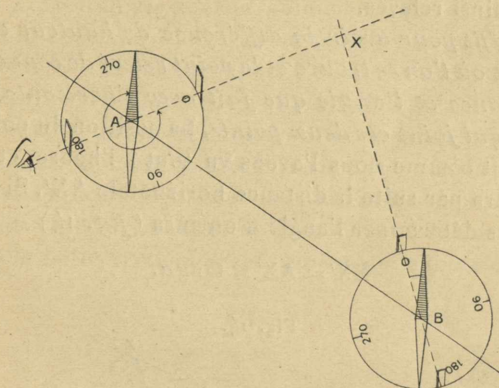
IV. — Mesure des distances et des altitudes des points visibles de la route parcourue.

29. **Dans les levers d'itinéraires.** — Nous avons dit que pour compléter le dessin du terrain il était nécessaire de placer sur la Carte un certain nombre de points remarquables que l'explorateur peut apercevoir sans se déranger de sa route.

30. 1° *Relèvements.* — Lorsque l'on veut déterminer l'orientement d'un objet éloigné, on se sert de la fente

et de la pinnule pour viser l'objet (*fig.* 13). Lorsque l'objet est bien dans la direction de la ligne de visée et que l'aiguille est amenée au repos par de petits mouve-

Fig. 13.



ments de pression sur le frein, on appuie fortement sur celui-ci avec le doigt *et on lit la division du cercle à laquelle correspond l'extrémité bleue de l'aiguille.*

On obtiendra ainsi l'angle en degrés que fait, au point A, la direction du point X visé avec celle de l'extrémité bleue de l'aiguille qui est celle du Nord magnétique, *compté à gauche de cette direction.* Si nous opérons de même en un second point B de la route, l'intersection des deux orientements AX et BX nous donnera la position du point X.

Déterminer ainsi l'orientement d'un point s'appelle prendre le *relèvement* de ce point. Il est évident que si nous pouvons relever ce même point X d'un certain nombre de stations de la route, tous les relèvements

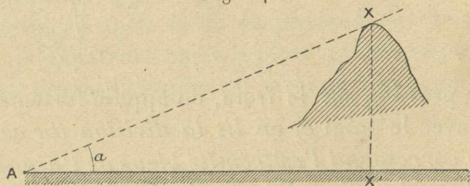
devront se rencontrer au même point de la Carte et la position du point sera ainsi bien déterminée.

31. 2° *Clisimètre.* — Il est également nécessaire, pour compléter le dessin du terrain d'avoir les altitudes des points ainsi relevés.

Il suffit pour avoir la différence de hauteur entre le point où l'on se trouve et le point relevé de connaître sa distance et l'angle que fait avec l'horizontale la droite qui joint ces deux points. La position du point X s'obtient comme nous l'avons vu tout à l'heure, et l'on connaîtra par suite la distance horizontale AX'. Si nous pouvons déterminer l'angle a on aura (*fig.* 14)

$$XX' = AX' \times \tang a.$$

Fig. 14.



En ajoutant ce résultat à la hauteur du point A que l'on connaît par les indications du baromètre, ou en le retranchant suivant que le point X est au-dessus ou au-dessous du point A, on aura la valeur de l'altitude du point X. Remarquons que ce point ayant été également relevé d'autres stations de la route, si, en ces stations, on a aussi observé les angles tels que a, on aura une série de valeurs de la hauteur de X, dont on adoptera la moyenne.

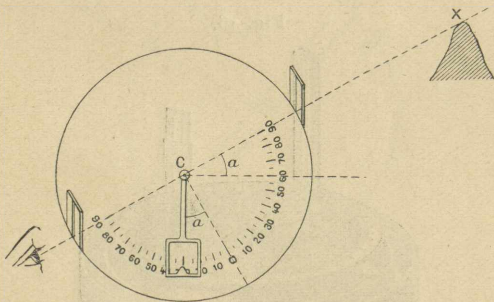
Il nous faut donc connaître l'angle a. On l'obtient au

moyen d'un petit appareil adapté à la boussole que nous avons décrite.

Nous avons dit, en parlant de cet instrument, que, sur le même pivot que l'aiguille aimantée, tourne un petit *perpendicule* dont la pointe se meut sur une graduation spéciale tracée sur le fond de la boîte. Cette partie de l'instrument s'appelle *clisimètre* et sert à mesurer, très grossièrement d'ailleurs, l'angle a.

Si l'on retourne la boussole de manière à tenir la boîte verticalement de façon que le perpendicule marque la division o, la ligne de visée déterminée par les deux pinnules est horizontale. Si donc (*fig.* 15), tenant toujours la boîte verticalement, on amène la ligne de visée

Fig. 15.



sur le point, l'angle du perpendicule avec la verticale, qu'on lira directement sur la graduation, est égal à l'angle cherché.

On voit que cet instrument ne peut donner qu'une très grossière approximation puisque l'on peut à peine lire les degrés sur la graduation.

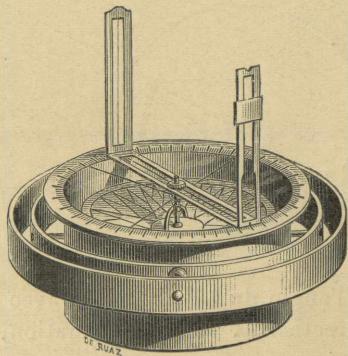
Si l'on a relevé le point X de plusieurs stations de la

route et que l'on ait en même temps pris sa hauteur au clisimètre, on aura autant de valeurs de son altitude. On en adoptera la moyenne.

32. **Dans les levers de cours d'eau.** — Nous avons vu que dans les levers de cours d'eau, lorsque l'on opère sur une embarcation ne contenant pas de grandes masses de fer pouvant agir sur l'aiguille aimantée, on faisait usage de la boussole. Dans ce cas, ce que nous venons de dire pour les levers d'itinéraire s'applique sans modifications.

Mais si l'embarcation est en fer ou contient des masses de fer, nous avons dit qu'il fallait remplacer la boussole par le compas de relèvement. Or, nous n'avons décrit de ce compas que ce qui nous était nécessaire pour la

Fig. 16.

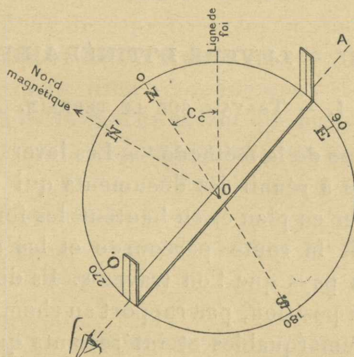


détermination de la route suivie. Il se complète généralement par un cercle gradué de 0° à 360° qui borde la glace supérieure et dont le zéro correspond à la ligne de foi.

Sur le prolongement de l'axe vertical de la rose (*fig.* 16), au-dessus de la glace supérieure, est adapté un pivot qui supporte une alidade mobile. Cette alidade peut être mise en place ou retirée suivant les besoins. Elle porte à ses extrémités deux pinnules déterminant une direction de visée qui passe par l'axe de la rose.

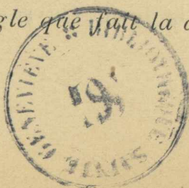
Si nous supposons que la rose soit graduée comme la *rose normale* (*voir* l'observation et la figure page 21), on voit (*fig.* 17) que la lecture de la division de cette rose, correspondant à l'alidade dirigée vers le point A,

Fig. 17.



donnera l'angle de la direction de ce point avec le Nord du compas. Pour avoir l'angle de cette direction avec le Nord magnétique il faut y ajouter l'angle NON′ du Nord du compas avec le Nord magnétique. Or cet angle est précisément l'angle $M_m - M_c$ écrit dans la colonne 5 du Tableau de régulation du compas en face du cap au compas C_c (p. 26).

Donc, pour avoir l'angle que fait la direction du



point visé avec le Nord magnétique, compté de 0° à 360° à droite de ce Nord, on ajoutera avec son signe à la lecture faite, sur la rose normale, de la direction du point (qui est celle de l'alidade au moment de la visée) l'angle écrit dans la colonne 5, du Tableau de régulation, en face du cap au moment où l'on prend ce relèvement.

Pour avoir les hauteurs des points visés, on se servira, comme dans les levers d'itinéraire, du clisimètre. Enfin on relèvera de même les points intéressants, en autant de stations que possible de la route suivie sur la rivière.

§ III. — LEVERS D'ITINÉRAIRES.

I. — Travail sur le terrain.

33. **Principe de la méthode.** — Les levers d'itinéraire sont destinés à réunir les documents qui permettront de représenter en plan et en hauteur les formes du terrain que suit la route parcourue et les mouvements généraux du pays que l'on traverse. Ils doivent également fixer la position, par rapport au chemin parcouru, des points remarquables et intéressants que l'on peut apercevoir.

Comme nous l'avons dit en commençant, les cheminements ainsi relevés au moyen d'instruments peu précis et avec la vitesse d'un homme en marche devront être rectifiés le plus souvent possible de manière à ne pas laisser s'accumuler les erreurs.

On commencera donc, au moyen des méthodes d'observations astronomiques que nous donnerons dans la seconde Partie de cet Ouvrage, par déterminer la posi-

tion géographique du point de départ, si elle n'est pas déjà connue, puis les états absolus des montres.

A partir de l'origine, on déterminera, comme nous allons l'exposer, la route suivie et ce qui l'entoure avec la *boussole*, le *compte-pas* et le *baromètre*.

Ce cheminement s'effectuera ainsi pendant un nombre de jours, variable avec la vitesse, jusqu'à ce qu'on atteigne un point distant de 60^{km} à 80^{km} du point de départ. Si l'on dispose de beaucoup de temps, on pourra réduire cette distance à 30^{km}. On s'arrêtera alors pour procéder aux observations astronomiques qui permettront de fixer la position géographique du lieu où l'on séjourne. Puis on repartira vers une nouvelle station, située à pareille distance de la précédente, dont on déterminera la position géographique; et ainsi de suite.

Il sera bon de choisir autant que possible les stations parmi les points importants, tels que centres commerciaux ou industriels, confluents ou sources de rivières, sommets remarquables, etc.

Nous allons maintenant décrire les observations à effectuer en cours de route.

34. Cas d'un pays découvert. — Avant le départ, on ramènera au zéro les aiguilles de tous les compte-pas, ce qui se fait facilement en les tournant à la main, et on les logera dans les poches du gilet ou dans la ceinture. Le baromètre est porté en bandoulière dans une petite sacoche en cuir; la boussole est tenue à plat dans la main gauche, et le carnet, auquel est attaché le crayon, est placé à portée de la main dans un sac de voyage ou dans une poche de la veste. Ce carnet sera disposé d'après le modèle suivant :

MODÈLE DE CARNET D'ITINÉRAIRE.

ROUTE.								POINTS ÉLOIGNÉS.				
HEURES.	BAROMÈTRE		ORIENTEMENT.	DISTANCES				NOMS ou désignation.	RELÈVEMENT.	HAUTEURS		OBSERVATIONS ET CROQUIS.
	lectures.	hauteur.		compte-pas.	nombre de pas.	suivant la pente.	réduites			au clisimètre.	calculées.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6......	148	148		0								Départ de Copa le 6 mai (matin).
6.10....	152	154	NNE	945	945	680	680					
6.20....	183	187	NE	1785	840	604	602	Pic Benga.	18°	+ 5°	347	Vue du pic.
6.30....			//	2460	675	486	470					
6.40....	52	60	ENE	3155	695	500	480	Dir^{on} de la Riv.	20			Rivière Issanghila : largeur 20^{m}.
6.55....	250	259	//	4170	1015	731	705	S^{et} à droite.	190	+12	315	A flanc de coteau, le sommet à 250^{m} à droite. (Sommet boisé.)
7.02....			E	4875	705	508	506					
7.15....	222	234	NNE	5475	600	432	430	Pic Benga.	80	+ 2	330	Col.
7.25....	304	318	N	6010	540	389	380					
7.40....	225	241	NNO	6905	895	644	630	S^{et} à gauche.	100	+11	251	Le sommet à 150^{m} à gauche. (Rocheux.)
7.50....	180	196	N$\frac{1}{2}$O	7540	635	457	453	Vill. Loango.	316	+ 3	309	
8.05....	62	79	//	8460	920	662	650	Dir^{on} de la Riv.	45			Rivière Masanga : largeur 8^{m}, affluent de la pré- [cédente.
8.20....	124	142	N	9375	915	659	655	Vill. Loango.	278	+ 6	344	Arrivé au village Kitendi : 120 cases. Chef Thiaba.
												Case du chef.

N. B. — Les gros chiffres sont ceux que l'on écrit sur le terrain. — Les chiffres maigres sont écrits lors de la rédaction provisoire.

35. 1° *Route.* — Au moment du départ, on notera dans la colonne 1 l'heure, et dans la colonne 2 l'indication du baromètre. Puisque nous supposons le pays découvert, on remarquera un point dans la direction de la route que l'on va suivre et l'on estimera son orientement suivant la graduation de la rose des vents, comme nous l'avons indiqué et l'on écrira le signe de la rose dans la colonne 4, sur la ligne au-dessous de celle qui porte la première heure. On se mettra alors en marche en se dirigeant aussi droit que possible vers le point que l'on a visé. Lorsque l'on sera arrivé en un point où il faudra changer de direction, on s'arrêtera, on lira les indications des compte-pas dont on écrira la moyenne dans la colonne 5, en face de la nouvelle heure qu'on lira en même temps sur la montre. Puis, regardant un point dans la nouvelle direction de la route, on lira le nouveau signe de la rose et on l'écrira sur la ligne de la colonne 4 en dessous du premier.

On continuera ainsi jusqu'à l'étape.

Lorsqu'en un point d'une direction suivie on constate que le terrain n'est plus au même niveau qu'à la précédente lecture du baromètre, on lit et l'on inscrit dans leurs colonnes respectives les indications de la montre, du compte-pas et du baromètre sans modifier pour cela la direction suivie. Si l'on franchit successivement des vallées et des collines, on fait les lectures du baromètre dans les fonds, sur les points culminants et aussi à tous les points intermédiaires, qui, d'après l'évaluation de l'explorateur, peuvent concourir à donner une meilleure représentation de la forme du terrain le long de la route.

Si la route en coupe une autre, rencontre une rivière

ou bien traverse un village, on lit l'heure, le baromètre et le podomètre dont on inscrit les indications et dans la colonne 13 on porte les renseignements qui permettront de reconnaître cette particularité.

36. 2° *Points éloignés.* — Lorsqu'à un certain moment on remarque en dehors de la route un point intéressant à porter sur la carte, on s'arrête, on lit les indications de la montre, du baromètre et du compte-pas ; on les note et l'on relève le point, en direction avec la boussole (on inscrit ce relèvement dans la colonne 10) et en hauteur avec le clisimètre, dont on note l'indication dans la colonne 11, en la faisant précéder du signe + si le point est plus élevé que la station, — dans le cas contraire. Dans la colonne 9, sur la même ligne, on indique quel est le point que l'on a relevé. Pour que ce point puisse être placé sur la carte, il faut qu'il soit de même relevé d'un autre point au moins de la route : on aura donc soin de le suivre des yeux tout en marchant de façon à le reconnaître s'il change de forme ou se masque en partie. Plus le point est éloigné, plus les stations faites sur la route pour le relever devront être distantes l'une de l'autre. Un peu d'habitude fera rapidement juger de l'écartement nécessaire dans chaque cas.

37. **Cas d'un pays forestier.** — Lorsque l'on se trouve dans un pays couvert d'une végétation très dense, on ne peut plus estimer, en regardant des points, les orientements des alignements de la route ; il faut alors opérer comme nous l'avons vu faire à plusieurs explorateurs.

On choisit un homme à marche régulière et qui sache régler son pas sur celui de la colonne. On l'appelle le *pilote*.

TABLE DU PAS DE $0^m,72$.

Pas.	Mètres.	Millimètres au $\frac{1}{50000}$.	Pas.	Mètres.	Millimètres au $\frac{1}{50000}$.	Pas.	Mètres.	Millimètres au $\frac{1}{50000}$.
100...	72,0	1,4	255...	183,6	3,7	410...	295,2	5,9
105...	75,6	1,5	260...	187,2	3,7	415...	298,8	6,0
110...	79,2	1,6	265...	190,8	3,8	420...	302,4	6,0
115...	82,8	1,7	270...	194,4	3,9	425...	306,0	6,1
120...	86,4	1,7	275...	198,0	4,0	430...	309,6	6,2
125...	90,0	1,8	280...	201,6	4,0	435...	313,2	6,3
130...	93,6	1,9	285...	205,2	4,1	440...	316,8	6,3
135...	97,2	1,9	290...	208,8	4,2	445...	320,4	6,4
140...	100,8	2,0	295...	212,4	4,2	450...	324,0	6,5
145 ..	104,4	2,1	300...	216,0	4,3	455...	327,6	6,6
150...	108,0	2,2	305...	219,6	4,4	460...	331,2	6,6
155...	111,6	2,2	310...	223,2	4,5	465...	334,8	6,7
160...	115,2	2,3	315...	226,8	4,5	470...	338,4	6,8
165. .	118,8	2,4	320...	230,4	4,6	475...	342,0	6,8
170...	122,4	2,4	325...	234,0	4,7	480...	345,6	6,9
175...	126,0	2,5	330...	237,6	4,8	485...	349,2	7,0
180...	129,6	2,6	335...	241,2	4,8	490...	352,8	7,1
185...	133,2	2,7	340...	244,8	4,9	495...	356,4	7,1
190...	136,8	2,7	345...	248,4	5,0	500...	360,0	7,2
195...	140,4	2,8	350...	252,0	5,0	505...	363,6	7,3
200. .	144,0	2,9	355...	255,6	5,1	510...	367,2	7,3
205...	147,6	3,0	360...	259,2	5,2	515...	370,8	7,4
210...	151,2	3,0	365...	262,8	5,3	520...	374,4	7,5
215...	154,8	3,1	370...	266,4	5,3	525...	378,0	7,6
220...	158,4	3,2	375...	270,0	5,4	530...	381,6	7,6
225...	162,0	3,2	380...	273,6	5,5	535...	385,2	7,7
230...	165,6	3,3	385...	277,2	5,5	540...	388,8	7,8
235...	169,2	3,4	390...	280,8	5,6	545...	392,4	7,8
240...	172,8	3,5	395...	284,4	5,7	550...	396,0	7,9
245...	176,4	3,5	400...	288,0	5,8	555...	399,6	8,0
250...	180,0	3,6	405...	291,6	5,8	560...	403,2	8,1

Pas.	Mètres.	Millimètres au $\frac{1}{50000}$.	Pas.	Mètres.	Millimètres au $\frac{1}{50000}$.	Pas.	Mètres.	Millimètres au $\frac{1}{50000}$.
565...	406,8	8,1	720...	518,4	10,4	875...	630,0	12,6
570...	410,4	8,2	725...	522,0	10,4	880...	633,6	12,7
575...	414,0	8,3	730...	525,6	10,5	885...	637,2	12,7
580...	417,6	8,4	735...	529,2	10,6	890...	640,8	12,8
585...	421,2	8,4	740...	532,8	10,7	895...	644,4	12,9
590...	424,8	8,5	745...	536,4	10,7	900...	648,0	13,0
595...	428,4	8,6	750...	540,0	10,8	905...	651,6	13,0
600. .	432,0	8,6	755...	543,6	10,9	910...	655,2	13,1
605...	435,6	8,7	760...	547,2	10,9	915...	658,8	13,2
610...	439,2	8,8	765...	550,8	11,0	920...	662,4	13,2
615...	442,8	8,9	770...	554,4	11,1	925...	666,0	13,3
620...	446,4	8,9	775...	558,0	11,2	930...	669,6	13,4
625...	450,0	9,0	780...	561,6	11,2	935...	673,2	13,5
630...	453,6	9,1	785...	565,2	11,3	940...	676,8	13,5
635...	457,2	9,1	790...	568,8	11,4	945...	680,4	13,6
640...	460,8	9,2	795...	572,4	11,4	950...	684,0	13,7
645...	464,4	9,3	800...	576,0	11,5	955...	687,6	13,8
650...	468,0	9,4	805...	579,6	11,6	960...	691,2	13,8
655...	471,6	9,4	810...	583,2	11,7	965...	694,8	13,9
660...	475,2	9,5	815...	586,8	11,7	970...	698,4	14,0
665...	478,8	9,6	820...	590,4	11,8	975...	702,0	14,0
670...	482,4	9,6	825...	594,0	11,9	980...	705,6	14,1
675...	486,0	9,7	830...	597,6	12,0	985...	709,2	14,2
680...	489,6	9,8	835...	601,2	12,0	990 ..	712,8	14,3
685...	493,2	9,9	840...	604,8	12,1	995...	716,4	14,3
690...	496,8	9,9	845...	608,4	12,2	1000...	720,0	14,4
695...	500,4	10,0	850...	612,0	12,2	1005...	723,6	14,5
700...	504,0	10,1	855...	615,6	12,3	1010...	727,2	14,5
705...	507,6	10,2	860...	619,2	12,4	1015...	730,8	14,6
710...	511,2	10,2	865...	622,8	12,5			
715...	514,8	10,3	870...	626,4	12,5			

Étant soi-même au point de départ, on l'envoie en avant. Lorsque l'on juge qu'il est à une distance suffisante, on l'appelle par un coup de sifflet. L'homme se tourne du côté d'où vient le son et répond par un *hop* prolongé ou par un coup de corne. Il plante en même temps un piquet sur le chemin, ou fait un simple trou facile à reconnaître. Puis il repart en avant.

L'explorateur, en entendant la réponse du pilote à son coup de sifflet, place l'extrémité bleue de l'aiguille sur la division Nord, estime la direction d'où est venu le son et note cette direction. Puis, se mettant en marche, il lit le compte-pas au moment où il arrive au piquet ou au trou fait par le pilote dans le chemin. On a ainsi une distance et un orientement approximatifs.

38. Une seconde méthode, avec laquelle il convient de se familiariser, d'abord parce qu'elle peut être employée en toute circonstance, ensuite parce qu'il peut arriver que l'on ne dispose pas d'un pilote, est celle de l'*estimation à vue des orientements pendant la marche,* sans regarder autre chose que la position de l'aiguille de la boussole. Il faut, dans ce cas, tenir la boussole de façon que l'extrémité bleue de l'aiguille coïncide exactement avec la division Nord. On voit alors facilement sur la rose, au bout de peu de temps d'observation, quel est l'orientement suivi. Les orientements avec cette méthode ne s'inscrivent plus avant de franchir la distance comme plus haut, mais seulement lors que l'on constate un changement bien accentué dans la direction.

On pourrait croire que les erreurs doivent être plus nombreuses en procédant de cette manière : il n'en est rien cependant et, avec un peu d'habitude, on arrive

assez rapidement à démêler la direction générale de la route suivie, en éliminant les changements accidentels et momentanés résultant des coudes du sentier. C'est ce que l'on appelle acquérir le sentiment de l'orientation.

Cette façon de procéder, que l'on ne peut souvent remplacer par aucune autre, constitue une des raisons pour lesquelles nous adoptons, après expériences personnelles et après avis recueillis auprès de nombreux explorateurs, la méthode d'estimation des orientements de la route avec la rose des vents. Comme nous venons de le dire, en pays forestier, où l'on ne peut apercevoir les parties de la route que l'on va parcourir, on n'inscrit les orientements qu'aux changements de directions ; il faut donc que la direction suivant laquelle on marche soit fixée dans l'esprit par un signe plus frappant qu'un simple chiffre et les signes de la rose, qui représentent des directions familières, se gravent plus facilement dans la mémoire.

39. **Tenue du carnet**. — Le carnet ne doit pas contenir seulement les indications que nous venons d'énumérer. Il est bon d'y fixer, par des croquis rapides, les abords de la route, et, en cas d'inhabileté du dessinateur, d'y noter d'une façon claire la position qu'occupe le chemin par rapport au terrain.

Il conviendra ainsi de signaler si l'on marche suivant la ligne de plus grande pente, ou bien sur les flancs du coteau dont le sommet se trouve à droite ou à gauche ; on estimera alors au clisimètre la pente de ce coteau, l'élévation de sa ligne de crête par rapport aux points où l'on observe et dans une direction perpendiculaire à la route. En un mot, on réunira tous les renseignements

qui peuvent concourir à donner plus de détails dans le report ultérieur de la Carte.

40. On comprendra, par ce que nous venons de dire, les principes sur lesquels repose un lever d'itinéraires, que chacun peut perfectionner suivant ses aptitudes et son habileté au dessin.

Pour acquérir la pratique dans ce genre de travail et en tirer profit dans les explorations, on devra exécuter de nombreuses expériences sur des routes connues, comparer les distances obtenues au podomètre avec les distances exactes, modifier l'étalonnage de son pas suivant les résultats de ces comparaisons et opérer de même pour l'estimation des orientements.

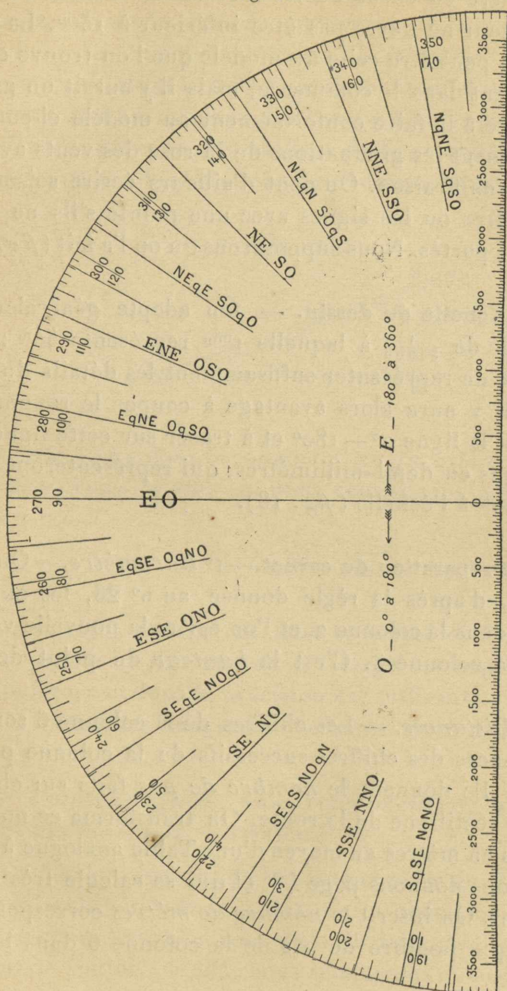
II. — Rédaction.

41. En arrivant à l'étape, vers le soir, on rédigera les levers de la journée. Cette précaution est essentielle, car elle permet d'ajouter à la Carte des détails fixés encore dans le souvenir et qui s'effaceraient bien certainement si l'on attendait plusieurs jours.

42. **Papier à dessin**. — Pour dessiner les croquis, il est commode d'employer des feuilles de papier quadrillé, coupé aux dimensions de 25^{cm} sur 35^{cm} environ, réunies les unes aux autres comme les feuilles d'un bloc-notes. Ces feuilles sont superposées sur un carton rigide, qui fait l'office d'une planche à dessiner, et peuvent se détacher les unes des autres au fur et à mesure de leur emploi.

43. **Rapporteur**. — Le rapporteur dont on se servira pour tracer les orientements de la route et les relève-

Fig. 18.


350
170
340
160
330
150
320
140
310
130
300
120
290
110
280
100
270
90
260
80
250
70
240
60
230
50
220
40
210
30
200
20
190
10
NqNE SqSO
NNE SSO
NEqN SOqS
NE SO
NEqE SOqO
ENE OSO
EqNE OqSO
EO
EqSE OqNO
ESE ONO
SEqE NOqO
SE NO
SEqS NOqN
SSE NNO
SqSE NqNO
O — 0° à 180° ←→ E — 180° à 360°
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500

ments sera en corne ou en cuivre. Le diamètre de ce rapporteur ne devra pas être inférieur à 15^{cm}. La graduation peut être celle du modèle que l'on trouve ordinairement dans le commerce, mais il y aurait un grand avantage à la faire conformément au modèle ci-contre, comprenant les graduations de la rose des vents avec la double chiffraison. On peut d'ailleurs écrire soi-même les chiffres ou les signes avec une pointe s'ils ne sont pas déjà portés. Nous supposerons qu'on l'a fait (*fig.* 18).

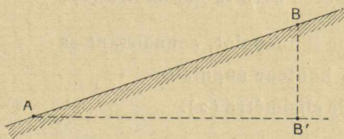
44. **Échelle du dessin.** — On adopte généralement l'échelle de $\frac{1}{50000}$ à laquelle 1^{mm} représente 50^{m} : elle permet de représenter suffisamment les détails du terrain. Il y aura alors avantage à couper le rapporteur suivant la ligne 0° — 180° et à tracer sur cette ligne des divisions en demi-millimètres, qui représenteront chacune 25^{m} à l'échelle (*fig.* 18).

45. **Préparation du carnet.** — 1° *Baromètre.* — On corrigera, d'après la règle donnée au n° 26, les chiffres écrits dans la colonne 2, et l'on écrira la nouvelle valeur dans la colonne 3. C'est la *hauteur* du point de station.

2° *Distances.* — Les chiffres de la colonne 6 sont les différences des chiffres successifs de la colonne précédente. Ils donnent le *nombre de pas* faits sur chaque partie rectiligne de la route. On transforme ce nombre de pas en mètres au moyen d'une Table analogue à celle que nous donnons page 48, et qui se calcule très rapidement. On inscrit le *nombre de mètres* correspondant à chaque nombre de pas de la colonne 6 dans la colonne 7.

On a donc ainsi les longueurs de la route, mais mesurées suivant la pente de cette route; il faut en déduire les longueurs mesurées suivant l'horizontale. Pour cela nous connaissons la différence de hauteur des deux stations dont nous avons la distance suivant la pente. Cette différence est celle des chiffres de la colonne 3 correspondant à ces deux stations. La distance suivant la pente

Fig. 19.



est celle écrite dans la colonne 7, *en face de la seconde station*. Dans la *fig.* 19, nous connaissons AB et BB'. On a donc

$$AB' = \sqrt{\overline{AB}^2 - \overline{BB'}^2}.$$

Mais il n'y a pas lieu de faire ce calcul en employant l'abaque de la *fig.* 20, dont l'usage est expliqué sur cette figure et dont la précision est suffisante.

On écrira les longueurs réduites ainsi dans la colonne 8.

3° *Points éloignés.* — Les *relèvements* de ces points n'ont pas besoin de corrections.

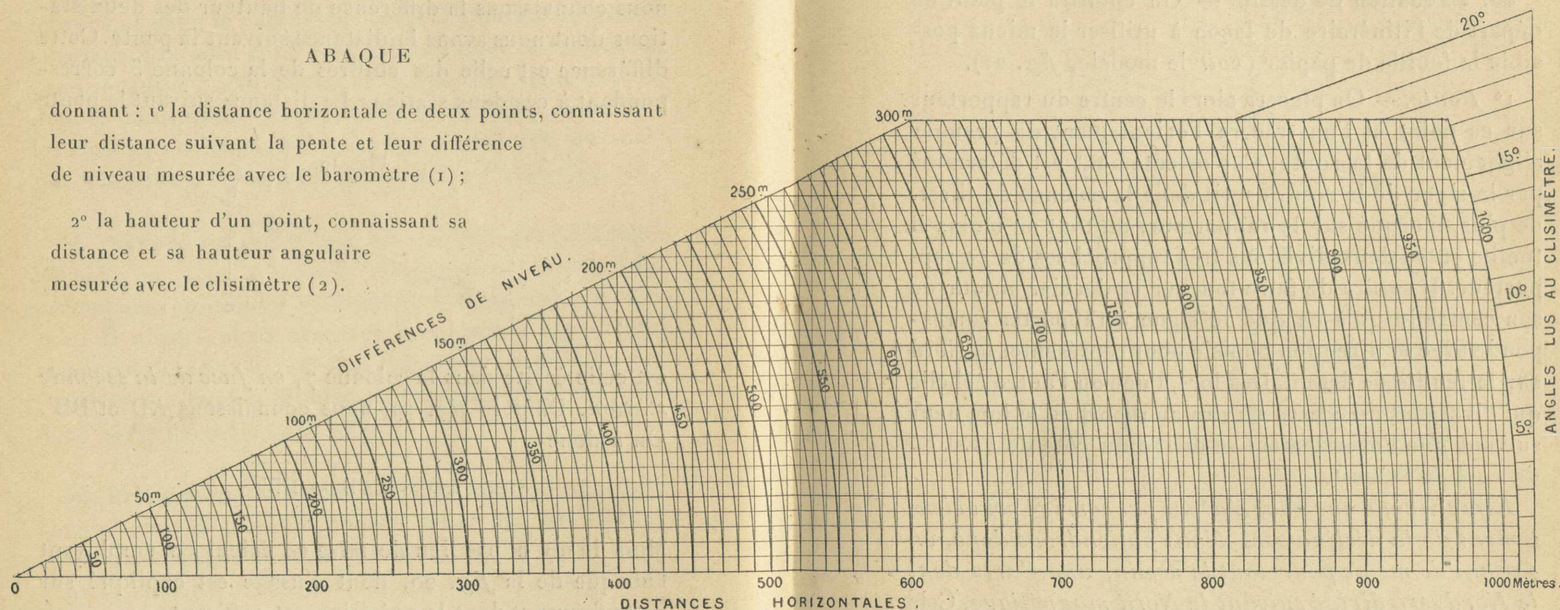
Il nous faut déduire de la hauteur prise au clisimètre la véritable altitude du point. Cette opération ne peut se faire que lorsqu'on connaît la distance de ce point au point de station (n° 30) : nous remettrons donc ce calcul

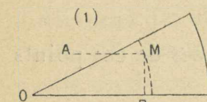
Fig. 20.

ABAQUE

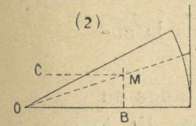
donnant : 1° la distance horizontale de deux points, connaissant leur distance suivant la pente et leur différence de niveau mesurée avec le baromètre (1) ;

2° la hauteur d'un point, connaissant sa distance et sa hauteur angulaire mesurée avec le clisimètre (2).





Chercher l'intersection M de la circonférence correspondant à la distance suivant la pente, et de l'horizontale AM correspondant à la différence de niveau. Prendre l'intersection de la verticale passant par ce point avec la division inférieure. On lira en ce point d'intersection la distance horizontale.



Prolonger avec une règle ou un fil jusqu'au point O l'oblique qui correspond à l'angle lu sur le clisimètre. Prendre son intersection M avec la verticale MB correspondant à la distance de ce point. Prendre l'intersection de l'horizontale CM passant par ce point avec la division de gauche. On lira sur cette division la hauteur du point.

au moment où le dessin que nous allons expliquer sera exécuté.

46. Exécution du dessin. — On choisira le point de départ de l'itinéraire de façon à utiliser le mieux possible la feuille de papier (*voir* le modèle, *fig.* 21).

1° *Route.* — On placera alors le centre du rapporteur sur ce point et l'on tracera l'orientement du premier alignement de la route. Cet orientement est déterminé par le signe de la rose inscrit dans la colonne 4; il est, de plus, marqué sur le rapporteur, ou tout au moins il tombe entre deux divisions très rapprochées de ce rapporteur. Il suffira de faire tourner ce dernier autour de son centre jusqu'à ce que le signe à rapporter corresponde avec la direction choisie pour représenter le Nord sur la feuille de dessin. Dès lors, l'une ou l'autre échelle qui divergent du centre servira au report de la longueur suivant que l'orientement se dirige du côté de l'Est ou du côté de l'Ouest.

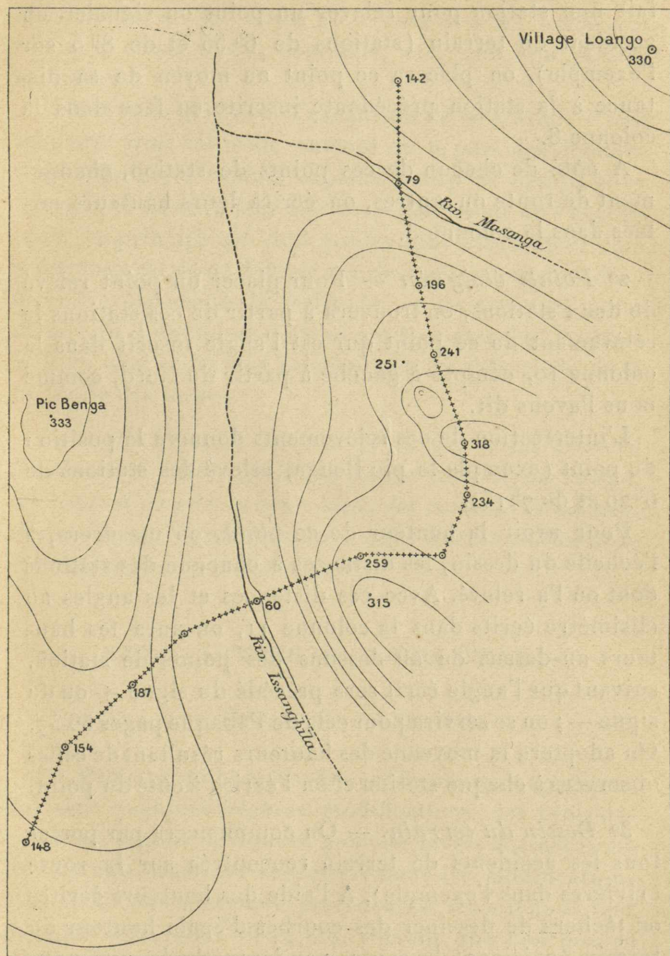
Remarquons que nous n'avons pas corrigé cet orientement de la déclinaison. Nous obtiendrons donc, en faisant de même pour tout le dessin, une Carte dont le Nord sera dirigé suivant le Nord magnétique. Cela n'a aucun inconvénient, comme nous le verrons lors de la rédaction définitive de la Carte.

La longueur de l'orientement est inscrite dans la colonne 8.

Au lieu de transformer chaque fois cette distance en millimètres, il y a avantage, comme nous l'avons dit, à tracer l'échelle sur le rapporteur.

On aura donc ainsi le second point de station et l'on continuera de même, de proche en proche, à tracer la

Fig. 21.



Modèle de rédaction provisoire d'itinéraire.

route. Si, sur une portion rectiligne de la route, on a fait une station pour relever un point ou signaler un accident de terrain (stations de $6^h 55$ et de $8^h 5$ sur l'exemple), on placera ce point au moyen de sa distance à la station précédente inscrite en face dans la colonne 8.

A côté de chacun de ces points de station, changement de route ou autres, on écrira leurs hauteurs notées dans la colonne 3.

2° *Points éloignés.* — Pour placer un point relevé de deux stations, on trouvera à partir de ces stations le relèvement de ce point qui est l'angle inscrit dans la colonne 10, compté à gauche à partir du Nord, comme nous l'avons dit.

L'intersection de ces relèvements donnera la position du point (exemple le pic Benga, relevé des stations de $6^h 20$ et de $7^h 15$).

Pour avoir la hauteur de ce point, on mesurera, à l'échelle du dessin, les distances à chacune des stations dont on l'a relevé. Avec ces distances et les angles au clisimètre écrits dans la colonne 11, on aura les hauteurs au-dessus ou au-dessous des points de station, suivant que l'angle écrit sera précédé du signe + ou du signe — ; on se servira pour cela de l'abaque pages 56-57. On adoptera la moyenne des hauteurs résultant de celles observées à chaque station et on l'écrira à côté du point.

3° *Dessin du terrain.* — On commencera par porter tous les accidents de terrain rencontrés sur la route (rivières dans l'exemple). A l'aide des hauteurs écrites on tâchera de dessiner des courbes d'égale hauteur du terrain avoisinant la route, par la méthode que nous

donnons dans la quatrième Partie ; on indiquera les bois, rochers, etc. Enfin on conservera les noms des villages, cours d'eau, sommets, etc. que l'on pourra connaître.

Il faut se défier, dans l'exécution de ce travail, d'une tendance trop naturelle, surtout de la part des dessinateurs habiles, à vouloir exprimer trop de détails pour remplir et étendre leur Carte au détriment de l'exactitude. Le principe qui doit guider tout explorateur consciencieux est de ne donner que des renseignements dont il croit avoir acquis la certitude, et les positions et les détails qu'il donne ne doivent pas être entachés d'autres erreurs que celles qui proviennent de l'élasticité de la méthode des levers.

Pour faciliter la lecture de la Carte on tracera les éléments successifs de la route au crayon rouge, les cours d'eau au crayon bleu ; les courbes de niveau, c'est-à-dire d'égale hauteur, et les autres indications seront écrites au crayon noir.

§ IV. — LEVERS DE COURS D'EAU.

I. — Travail sur le terrain.

47. **Principe de la méthode.** — On pourrait appliquer ici, sauf quelques légères modifications, les procédés que nous venons de donner pour les levers d'itinéraires. Nous allons examiner successivement les modifications à apporter aux méthodes précédentes, mais il nous faut de suite distinguer deux cas, suivant que l'on pourra faire usage de la boussole, l'embarcation ne contenant

pas de fer, ou que l'on se servira du compas de relèvement.

48. **Cas où l'on fait usage de la boussole.** — Généralement, lorsque le voyage s'effectue avec une petite embarcation ou en pirogue, la place fait défaut, et, comme le travail, pour être soutenu longtemps, doit s'exécuter avec le minimum de peine, nous donnerons ici quelques conseils pratiques, résultats de l'expérience.

L'explorateur devra être assis commodément devant une petite table carrée ou rectangulaire selon la forme qui épousera le mieux celle du bateau. Deux cordons en caoutchouc, tendus d'un bord à l'autre de la table, maintiendront le carnet et le crayon. Au-dessus du carnet se placera une boîte dans laquelle la montre sera solidement fixée : elle devra être inclinée du côté de l'observateur, de façon à rendre les lectures faciles. Enfin, si l'on dispose d'une place suffisante, on pourra également fixer une boîte sur la table dans laquelle on placera la boussole au repos.

Le carnet sera préparé suivant le modèle des pages 64-65.

49. 1° *Route.* — Pour commencer le lever, l'embarcation devra être amenée au milieu de la rivière et à une vingtaine de mètres en arrière du point de départ, de manière qu'elle ait acquis sa pleine vitesse au moment où elle passe à la hauteur de ce point.

A cet instant, l'explorateur regarde la montre et note l'heure sur le carnet dans la colonne 1. Prenant ensuite en main la boussole, il vise, dans la direction que l'on va suivre, un point, objet remarquable, arbre, etc. qui se trouve sur le bord de la rivière dans cette direction et paraît ainsi se projeter au milieu de cette rivière. Il

lit le relèvement de ce point et l'inscrit sur le carnet à la colonne 4.

Lorsque l'embarcation a atteint ce changement de direction, on lit et inscrit l'heure : on prend ensuite la boussole et l'on détermine, comme tout à l'heure, la nouvelle direction de la rivière ; on l'inscrit dans la colonne 4, comme la précédente, et l'on continue ainsi jusqu'à l'arrêt.

Il sera bon de sonder de temps à autre, et en particulier aux changements de direction. Si l'on fait une sonde sur une partie droite de la rivière, on note l'heure de cette sonde et celle-ci en face dans la colonne 5. On pourra également noter, dans la colonne 10, si le fond est dur, ou de sable ou de vase, ainsi que la largeur de la rivière.

50. 2° *Points éloignés ou intéressants.* — Lorsqu'au cours du lever une particularité digne d'être mentionnée se présentera sur l'une ou l'autre des rives, on relèvera ce point à l'aide de la boussole, comme dans les levers d'itinéraire, et l'on prendra sa hauteur au clisimètre. On inscrira, en même temps que ces indications dans les colonnes 7 et 8, le nom ou la désignation du point dans la colonne 6 et l'heure dans la colonne 1.

Parmi les points intéressants à noter, nous signalerons les *confluents de rivière,* les *villages,* les *maisons isolées,* les *changements de nature du terrain,* etc. Si ces particularités sont placées sur les bords mêmes du cours d'eau, on notera seulement l'heure au moment du passage à leur hauteur.

On aura soin d'indiquer dans la colonne 10 la rive sur laquelle on les remarque.

MODÈLE DE CARNET DE LEVERS DE COURS D'EAU.

(*Emploi de la boussole*).

ROUTE.					POINTS ÉLOIGNÉS.				OBSERVATIONS ET CROQUIS.
HEURES.	DISTANCES.		ORIENTEMENTS.	SONDES.	NOMS ou désignations.	RELÈVEMENTS.	HAUTEURS.		— LEVER DE LA RIVIÈRE : LUALI. Vitesse de l'embarcation : 1m,64 par seconde.
	Différences en secondes.	Longueurs en mètres.					au clisimètre.	calculées.	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
h m s 1.00.10				3,20					Départ de Niali le 21 mai 1897. — Largeur = 110 (cote 12).
5.30	320	525	170		Village Cayo.	72	3°		
12.45	435	713	120		Mission catholique.	170	3		
20.15	450	738	125						Rive droite. Village et rivière Ningo. Largeur 6m.
29.10	535	877	115		Village Cayo.	5	4	112	Sentier du village Cayo, petit port, rive gauche.
36.20	430	705	135						
44.45	505	828	75		Mission catholique.	230	3	160	Route de la mission, débarcadère, rive droite.
52.05	440	722	120						A 2km,500, 165° mine de cuivre en exploitation dans un col.
59.15	430	705	90	3,60	Redoute.	158	7		Rive gauche, rivière Avilembani, largeur 30m, direction 22°.
2.07.20	485	795	115		Village n'Koula.	160	6		
12.40	320	525	120						
16.15	215	335	//		Arbre rive gauche.	49	2		Factorerie française, rive droite, sentier de n'Koula.
22.05	350	574	75		Village n'Koula.	240	5	120	
26.50	285	467	135		Redoute.	242	7	262	

N. B. — Les gros chiffres sont ceux que l'on écrit sur le terrain. — Les chiffres maigres sont écrits lors de la rédaction provisoire.

Si c'est un cours d'eau, on le définira par son nom, son importance probable et sa direction générale qu'indiquera le guide. En un mot, on réunira dans toutes les circonstances les renseignements et les croquis qui pourront contribuer le mieux à la connaissance géographique de la région parcourue.

51. 3° *Cas où la rivière a une grande largeur.* — La méthode que nous venons d'exposer suppose que la rivière a une largeur que l'œil peut facilement apprécier et, dans ce cas, on doit astreindre les rameurs à suivre autant que possible le milieu de cette rivière. Mais s'il arrivait que l'on ait à lever un cours d'eau dont la distance entre les deux rives ne soit plus facilement appréciable, il faut employer une autre méthode.

On navigue en côtoyant, autant que la profondeur le permet, l'une des rives, et l'on détermine la position de l'autre rive en plaçant, par relèvements, un certain nombre de points remarquables, arbres, etc., qui y soient situés.

52. De même que pour les levers d'itinéraire, lorsque l'on aura franchi sur la rivière une distance de 60^{km} à 80^{km}, on s'arrêtera en un point intéressant et l'on procédera sur l'une des rives aux observations astronomiques qui fixeront la position géographique de cette station et permettront de rectifier les erreurs inévitables dans ce procédé de lever.

53. **Cas où l'on fait usage du compas de relèvement.** — Si le lever s'exécute sur une embarcation à vapeur généralement en fer et, dans tous les cas, contenant assez de fer pour que l'aiguille aimantée soit influencée,

il faut faire usage, comme nous l'avons vu, du compas de relèvement.

Le compas est placé sur un pied élevé, dans une position fixe par rapport au bateau, la ligne de foi étant dirigée aussi parfaitement que possible dans l'axe longitudinal et à une hauteur suffisante pour que, l'observation se faisant debout, on puisse relever tous les points de l'horizon sans être gêné par ce qui peut se trouver à bord.

54. *Route.* — L'explorateur aura à portée de sa main, sur la petite table dont nous avons parlé, la montre, la boussole qui servira de clisimètre seulement et un carnet préparé suivant le modèle des pages 68-69.

Pour commencer le lever, l'embarcation étant amenée au milieu de la rivière et un peu en arrière du point de départ, l'explorateur indique à l'homme de barre un objet apparent situé dans l'alignement que l'on va suivre. Celui-ci dirige l'avant de l'embarcation sur cet objet et l'y maintient le mieux qu'il peut.

Au moment où l'embarcation passe à hauteur du point de départ, on note l'heure dans la colonne 1 ; on s'assure que l'homme de barre a bien mis le cap sur l'objet qu'on lui a indiqué et on lit le cap au compas que l'on écrit sur la ligne immédiatement inférieure dans la colonne 5. On inscrit le nombre de tours de la machine dans la colonne 3. Au moment du changement de direction, on note l'heure dans la colonne 1. On indique à l'homme de barre un nouvel objet sur lequel il dirige l'embarcation et, lorsqu'il est bien dans cette direction, on note de nouveau le cap que l'on écrit au-dessous du premier dans la colonne 5.

MODÈLE DE CARNET DE LEVER DE COURS D'EAU.

(*Emploi du compas de relèvement*).

HEURES.	ROUTE.					SONDES.	POINTS ÉLOIGNÉS.						OBSERVATIONS et CROQUIS. — Lever de la rivière Loango.
	DISTANCES.			ORIENTEMENTS.				RELÈVEMENTS			HAUTEURS		
	Différence en secondes.	Nombres de tours.	Longueur en mètres.	Cap au compas.	Cap magnétique normal.		NOMS ou désignations.	au com-pas.	rose nor-male.	cor-rigé.	au clisi-mètre.	calcu-lées.	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
h m s 2. 7,25						4,40							Départ de Kringer, 6 mai 1896.
2.11,15	230	80	506	S. 85 E.	104		Village Quaben.	N. 45 E.	45	54,15			
2.14,40	205		451	S. 80,30 E.	109								
2.18,20	220		484	S. 62 E.	125,30								Rive droite : rivière Mondah.
2.23,35	315		693	N. 72 E.	83	5,20							
2.27,15	220		484	N. 50,30 E.	61,30		Village Quaben.	N. 70 O.	290	301			
2.32,05	290		638	S. 80,30 E.	109								
2.37,15	305	75	640	N. 81 E.	91,30	4,80	Village Akassa.	S. 20 E.	160	170,30			
2.42,20	305		640	N. 50,30 E.	61,30								
2.47,30	310		651	S. 89,30 E.	100								
2.51,10	220		462	S. 80,30 E.	109								
2.55,45	275		577	N. 86,15 E.	96	4,60	Village Akassa.	S. 40 O.	220	230			

55. 2° *Points éloignés.* — Les points intéressants visibles se relèveront à l'aide de l'alidade du compas et l'on écrira la lecture de la rose qui correspond à la direction de l'alidade dans la colonne 9, en même temps que le nom ou la désignation du point dans la colonne 8. On prendra, s'il y a lieu, sa hauteur avec le clisimètre que l'on écrira dans la colonne 12.

Tous les autres détails du lever s'exécutent comme on l'a indiqué pour le cas où l'on fait usage de la boussole.

II. — Rédaction.

56. Cette rédaction ne se fait généralement pas sur le terrain, car les travaux de la journée ont permis souvent de réunir de trop nombreux éléments pour que l'on puisse disposer d'assez de temps pour les reporter dans la soirée. Il n'est d'ailleurs pas aussi utile de faire intervenir la mémoire des lieux dans cette sorte de lever que dans ceux d'itinéraire, car l'explorateur, mieux installé, peut exécuter des croquis en nombre suffisant pour lui permettre de rafraîchir plus tard ses souvenirs.

57. Le papier, le rapporteur et l'échelle du dessin seront les mêmes que dans la rédaction des levers d'itinéraire. Nous n'y reviendrons pas.

58. **Cas où l'on a fait usage de la boussole.** — *Préparation du carnet :* 1° *Distances.* — On écrira dans la colonne 2, en face de chaque heure, sa différence en secondes avec l'heure écrite immédiatement au-dessus.

Si nous avons fait un Tableau donnant l'espace parcouru pour des intervalles de temps croissant de dix en dix secondes, par exemple, connaissant la vitesse en mètres par seconde écrite dans la colonne 10, on trouvera dans ce Tableau la longueur parcourue correspondant à la différence que l'on vient d'écrire dans la colonne 2; on l'écrira dans la colonne 3.

2° *Points éloignés.* — On calculera les hauteurs comme nous l'avons indiqué dans les levers d'itinéraires.

59. *Exécution du dessin.* — Le dessin s'exécutera, pour le tracé de la route suivie, exactement comme nous l'avons indiqué pour les levers d'itinéraires. On trouvera les orientements de la route, qui sont les angles de la direction de cette route *à gauche du Nord magnétique,* dans la colonne 4 et les longueurs parcourues dans la colonne 3. Il sera bon d'écrire les heures (avec les minutes seulement) à côté de chacune des stations.

La construction des points éloignés se fera également de même que dans les levers d'itinéraires.

La route étant tracée, on dessinera les deux rives de la rivière en arrondissant les coudes et tenant compte des variations de largeur notées dans la colonne 10. On complétera le dessin en indiquant tous les accidents de terrain notés dans la colonne 10 et écrivant les noms, les altitudes et les sondes, s'il y en a.

60. **Cas où l'on a fait usage du compas de relèvement.** — *Préparation du carnet : 1° Distances.* — On fera, dans la colonne 2, les différences en secondes des heures qui y sont écrites avec celles qui les précèdent immé-

diatement. Si l'on a fait, comme nous l'avons expliqué, un Tableau donnant la vitesse correspondant au nombre de tours donné par la machine, on cherchera dans ce Tableau la vitesse correspondant au nombre de tours que l'on a noté dans la colonne 3, toutes les fois qu'il changeait, et on la multiplie par le chiffre que l'on vient d'écrire dans la colonne 2. On écrit le résultat dans la colonne 4.

2° *Orientements.* — Dans le Tableau de régulation du compas, fait avant le départ et disposé suivant le modèle, on trouve le cap magnétique normal (colonne 4 du Tableau) correspondant au cap au compas écrit dans la colonne 5. On l'écrit en face dans la colonne 6.

3° *Points éloignés.* — En face du relèvement au compas écrit dans la colonne 9, on écrit le relèvement que l'on aurait lu sur la rose normale (*voir* la *fig.* p. 21) dans la colonne 10. On cherche, dans le Tableau de régulation du compas, le chiffre écrit dans la colonne 5 du Tableau en face du cap au compas qu'avait l'embarcation au moment où l'on a pris le relèvement et que l'on trouve sur la même ligne dans la colonne 5 du carnet. On ajoute ce chiffre avec son signe à l'angle que l'on vient d'écrire dans la colonne 10. On écrit le résultat dans la colonne 11.

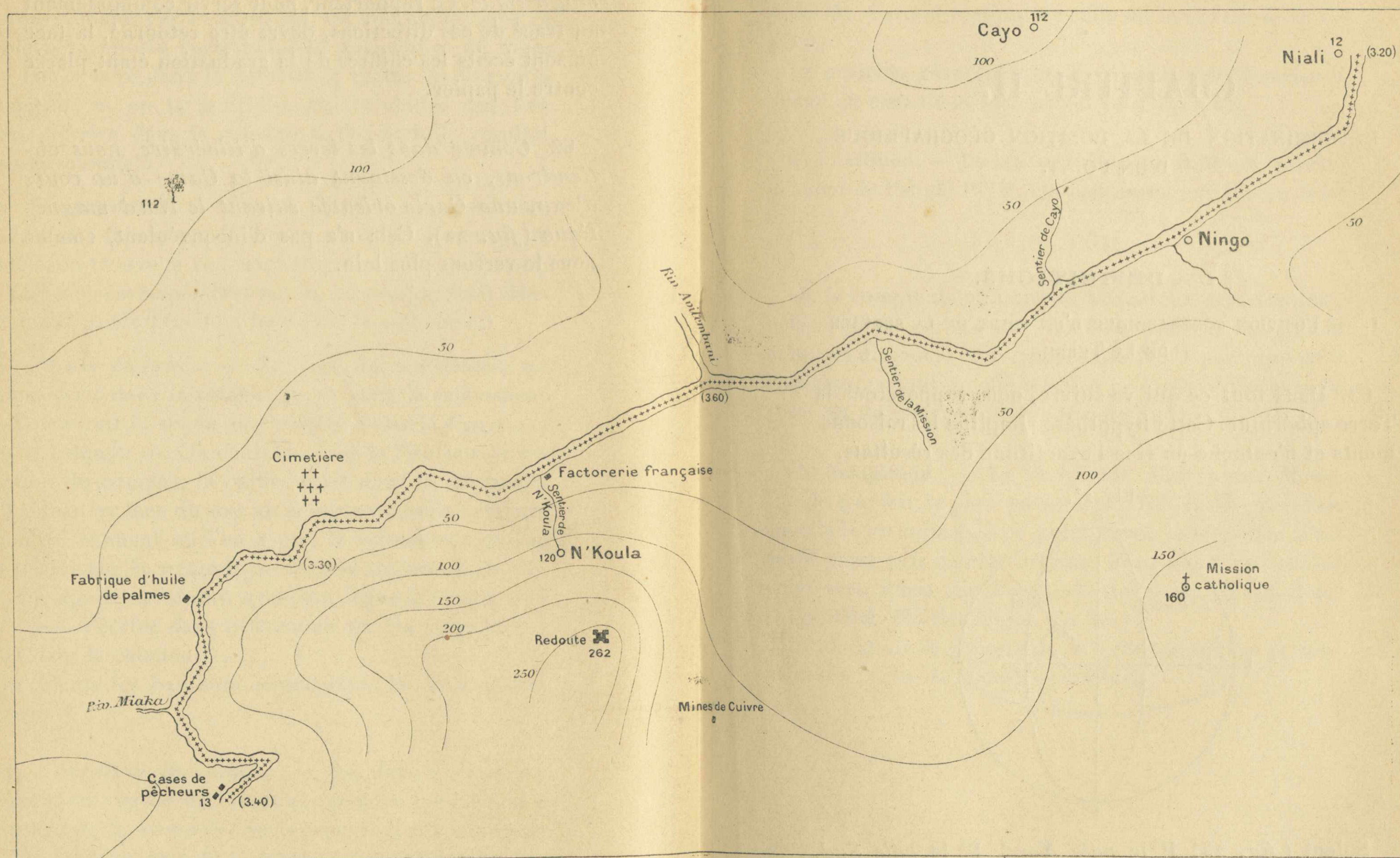
On calcule les hauteurs comme dans les levers d'itinéraire.

61. *Exécution du dessin.* — Le dessin s'exécute comme nous venons de l'indiquer pour le cas où l'on a fait usage de la boussole. Seulement il faut remarquer que les orientements de la route (colonne 6) et les re-

lèvements des points sont comptés *à droite du Nord magnétique*. Le rapporteur, pour servir commodément au tracé de ces directions, devra être retourné, la face où sont écrits les chiffres de la graduation étant placée contre le papier.

62. *Comme dans les levers d'itinéraire, nous obtiendrons, en dessinant ainsi la Carte d'un cours d'eau, une Carte orientée suivant le Nord magnétique* (*fig.* 22). Cela n'a pas d'inconvénient, comme nous le verrons plus loin.

Fig. 22.



Modèle de rédaction provisoire d'un lever de cours d'eau.

CHAPITRE II.

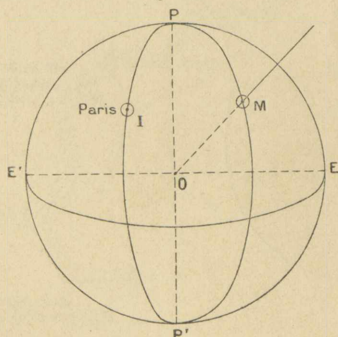
DÉTERMINATION DE LA POSITION GÉOGRAPHIQUE D'UN POINT.

§ I. — DÉFINITIONS.

I. — Position géographique d'un point de la surface de la Terre.

63. Dans tout ce qui va suivre, nous supposerons la Terre sphérique. Cette hypothèse simplifie les raisonnements et n'entache en rien l'exactitude des résultats.

Fig. 23.



Soient (*fig.* 23) P le *pôle Nord*, P' le *pôle Sud*, EE' l'*équateur*, qui est le grand cercle perpendiculaire

à PP' passant par le centre O de la Terre. La normale à la surface, en un point M de cette surface à la direction OM. Cette direction est celle de la *verticale* en ce point.

La position géographique d'un point est déterminée quand on connaît sa *latitude* et sa *longitude*.

64. **Latitude**. — La latitude d'un point M est le complément de l'angle POM. On la désigne par l; on a donc

$$l = 90^\circ - \text{POM}.$$

On la compte de 0° à 90° de l'équateur vers les deux pôles. On dit qu'elle est *Nord* ou *boréale* lorsque le point est du même côté que le pôle Nord par rapport à l'équateur; on dit qu'elle est *Sud* ou *australe* lorsque le point est du même côté que le pôle Sud.

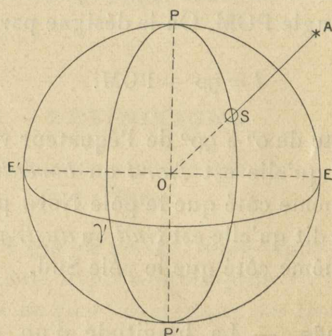
65. **Longitude**. — La longitude d'un point M est l'angle que fait le plan passant par PP' et M (que l'on appelle le *méridien* de ce point) avec le méridien d'un autre point pris comme origine. Pour nous, ce dernier point sera Paris. La longitude du point M est donc l'angle IPM. On la désigne par M.

La longitude se compte de 0° à 180° vers l'Est et vers l'Ouest à partir du méridien de Paris.

II. — Position d'un astre dans le ciel.

66. Sphère céleste. — Si nous nous supposons placés au centre O de la Terre (*fig.* 24), nous verrons un astre A dans la direction OA. Pour plus de commodité

Fig. 24.



dans les figures et dans les expressions, nous supposerons l'astre placé sur une sphère décrite du point O comme centre, au point S où la droite OA la rencontre. Nous appellerons cette sphère la *sphère céleste*. Nous ne commettrons, du fait de cette hypothèse, aucune erreur tant que nous n'aurons pas à introduire la distance de l'astre à la Terre dans nos raisonnements.

Nous appellerons donc *position de l'astre* le point où la droite qui joint cet astre au centre de la Terre rencontre la sphère céleste.

Le plan perpendiculaire à la ligne des pôles PP′ passant par le centre O coupe cette sphère suivant un grand cercle qui est l'*équateur céleste*.

La position d'un astre est déterminée quand on connaît sa *déclinaison* et son *ascension droite*.

67. **Déclinaison.** — La déclinaison est le complément de l'angle POS. On la désigne par d. On a donc

$$d = 90^\circ - \text{POS}.$$

On la compte de 0° à 90° de l'équateur vers les deux pôles. On dit qu'elle est *Nord ou boréale* lorsque l'astre est du même côté que le pôle Nord par rapport à l'équateur, on dit qu'elle est *Sud ou australe* quand il est du même côté que le pôle Sud.

68. **Ascension droite.** — L'ascension droite est l'angle que fait le méridien de l'astre avec le méridien d'un point de la sphère céleste pris comme origine. Ce point est l'intersection de l'équateur céleste avec la trajectoire apparente du Soleil que l'on appelle l'*écliptique,* lorsque cet astre passe de l'hémisphère Sud dans l'hémisphère Nord. On le désigne par γ. L'ascension droite de l'astre S est donc l'angle γPS.

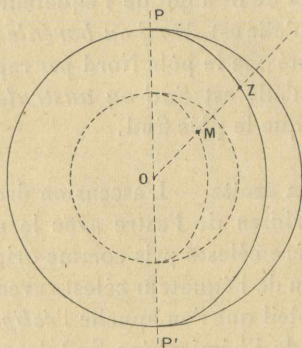
L'ascension droite se compte de 0° à 360° de l'Ouest à l'Est à partir du méridien du point γ.

Remarque. — Les ascensions droites et les déclinaisons des étoiles varient très lentement. Il n'en est pas de même de celles du Soleil, de la Lune et des planètes qui ont des mouvements assez rapides sur la sphère céleste.

III. — Relation entre la position d'un point sur la Terre et des astres dans le ciel.

69. Le problème de la détermination de la position du point M (*fig.* 25) revient à déterminer la direction de OM.

Fig. 25.



Par suite du mouvement diurne, la sphère céleste paraît tourner tout entière d'un mouvement uniforme de l'Est vers l'Ouest autour de la ligne des pôles PP'; immobilisons-la à un instant quelconque et soit Z le point où OM rencontre cette sphère.

Si, à ce même instant, nous connaissons la position de tous les astres sur cette sphère et que nous déterminions, au moyen des observations dont nous parlerons plus loin, la position du point Z (que l'on appelle le *zénith* du point M) par rapport aux astres, nous pourrons en déduire la position de ce zénith sur la sphère céleste ; cette position déterminera la direction de OM cherchée.

C'est le principe de la détermination de la position du point. Nous voyons donc qu'il nous faut connaître :

1° La position de tous les astres par rapport auxquels nous déterminons la position du zénith, à l'instant de cette détermination;

2° La position du zénith par rapport à ces astres.

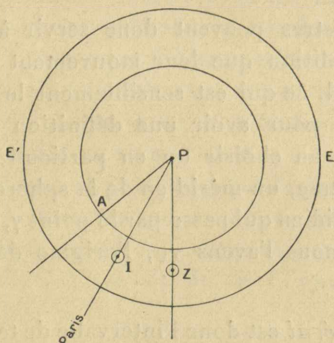
La *Connaissance des Temps* donne la position des astres; les observations nous donneront la position relative du zénith et des astres.

IV. — De la mesure du temps.

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de définir les différentes manières de mesurer le temps, en usage en Astronomie.

70. Temps sidéral. — Soit EE′ (*fig.* 26) l'équateur

Fig. 26.



que nous supposerons dans le plan de la figure, P le pôle. Les méridiens sont représentés par des lignes droites

menées par P. Soit PZ le méridien du lieu où nous sommes.

Par suite du mouvement diurne un astre A paraît décrire autour du pôle P un petit cercle de rayon PA, d'un mouvement uniforme. Le mouvement de cet astre peut donc servir à la mesure du temps. Nous compterons zéro heure quand l'astre sera dans le méridien PZ et vingt-quatre heures quand il y reviendra après un tour complet; son méridien aura à ce moment parcouru 360°; l'angle qu'il parcourra en une heure sera donc $\frac{360}{24} = 15^\circ$, en une minute $\frac{360}{60 \times 24} = 15'$, en une seconde $\frac{360}{60 \times 60 \times 24} = 15''$.

Si, à un certain instant, le méridien de l'astre fait un angle APZ, que l'on appelle l'*angle horaire de l'astre*, avec le méridien du lieu, l'heure correspondante sera la valeur de cet angle exprimée en heures, minutes et secondes.

Tous les astres peuvent donc servir à mesurer le temps, à condition que leur mouvement en ascension droite soit nul, ce qui est sensiblement le cas pour les étoiles. Mais pour avoir une définition complète du temps il faut en choisir un en particulier ou, ce qui revient au même, un méridien de la sphère céleste. On choisit le méridien qui passe par le point γ, méridien qui est, comme nous l'avons vu, l'origine des ascensions droites.

Le *jour sidéral* est donc l'intervalle de temps compris entre deux retours consécutifs du point γ au méridien. L'*heure sidérale* est la vingt-quatrième partie de cet intervalle. A un instant quelconque l'*heure sidérale ou*

temps sidéral d'un lieu est l'angle exprimé en temps du méridien du point γ avec le méridien de ce lieu, compté de ce méridien vers l'Ouest.

Il résulte de ce qui précède que l'ascension droite d'un astre exprimée en temps est l'heure sidérale d'un lieu lorsque cet astre est dans le méridien de ce lieu. C'est pour cela que les ascensions droites sont toujours données en temps et non en degrés.

71. **Temps moyen.** — La vie journalière nécessite l'emploi d'une mesure du temps basée sur le mouvement du Soleil. Ce mouvement n'étant pas uniforme ne peut servir directement à cette mesure. On a alors recours à un astre hypothétique que l'on appelle *Soleil moyen*, dont le mouvement autour de la Terre est uniforme, qui tantôt devance le Soleil vrai et tantôt le suit et qui se confond avec lui quatre fois par an.

Le *jour moyen* est le temps compris entre deux passages successifs du Soleil moyen au méridien. L'*heure moyenne* est la vingt-quatrième partie de cet intervalle. A un instant quelconque l'*heure moyenne ou temps moyen* d'un lieu est l'angle exprimé en temps du méridien du Soleil moyen avec le méridien de ce lieu, compté de ce méridien vers l'Ouest.

Le jour moyen est plus long que le jour sidéral de $3^m56^s,56$. La transformation d'un intervalle de temps sidéral en temps moyen ou réciproquement se fait à l'aide des Tables V et VI de la *Connaissance des Temps*.

72. **Temps astronomique et temps civil.** — Le jour civil commence à minuit, douze heures plus tôt que le jour moyen astronomique. Si le temps civil est exprimé

en heures du soir, supprimer la désignation *soir* et l'on a le temps astronomique; s'il est exprimé en heures du matin, ôter un jour à la date, ajouter douze heures et l'on a le temps astronomique.

Ainsi le 23 novembre à 4^h du soir (temps civil) est le 23 novembre 4^h (temps astronomique).

Le 23 novembre 4^h du matin (temps civil) est le 22 novembre 16^h (temps astronomique).

73. **Relation entre l'heure et la longitude.** — Si PA (*fig.* 26) est le méridien qui sert à mesurer le temps (méridien du Soleil moyen ou du point γ), on voit que l'heure du lieu Z est égale à l'heure de Paris au même instant augmentée de la longitude (qui est l'angle IPZ) exprimée en temps.

Si la longitude était Ouest, il faudrait la retrancher de l'heure de Paris pour avoir l'heure du lieu. C'est pour faciliter ces calculs que l'on exprime souvent les longitudes en temps.

Ces transformations de degrés en heures et réciproquement se font très simplement à l'aide des Tables VII et VIII de la *Connaissance des Temps*.

V. — De la Connaissance des Temps.

74. La *Connaissance des Temps* donne la position de tous les astres, en fonction de l'heure temps moyen de Paris, c'est-à-dire leur déclinaison et leur ascension droite. Elle donne également leur demi-diamètre lorsqu'il a une valeur appréciable, comme c'est le cas pour le Soleil, la Lune et quelques planètes.

Chaque élément est donné à des heures séparées par

des intervalles assez petits pour que l'on puisse calculer sa valeur à une heure intermédiaire en admettant que, pendant la durée de ces intervalles, il varie proportionnellement au temps. Ces intervalles sont donc d'autant plus petits que la variation de l'élément est plus rapide et moins régulière.

Pour bien faire comprendre ce qui précède supposons que nous cherchions la déclinaison du Soleil, le 3 mai 1896, à $5^h 25^m 10^s,0$ temps moyen de Paris.

Nous trouvons :

Déclinaison du Soleil le 3 mai à midi moyen..		$+15°54'12'',0$
»	le 4 mai » ..	$+16°11'30'',6$

(le signe + indique que la déclinaison est Nord).

La variation de la déclinaison en vingt-quatre heures a donc été de $17'18'',6$; donc, en $5^h 25^m 10^s$, elle sera

$$17'18'',6 \times \frac{5^h 25^m 10^s}{24}.$$

En effectuant ce calcul on aurait la quantité à ajouter à la déclinaison du 3 mai à midi moyen. Ce calcul est simplifié, parce qu'on donne dans une colonne voisine la variation de la déclinaison en une heure : c'est $43'',41$. On aura la variation en multipliant cette quantité par $5^h 25^m = 5^h,42$ (en transformant les minutes en dixièmes d'heure, ce qui se fait en divisant 25 par 6); on trouve $235'',3 = 3'55'',3$. La déclinaison cherchée est donc

$$15°54'12'' + 3'55'',3 = +15°58'07'',3.$$

La *Connaissance des Temps* donne de plus d'autres

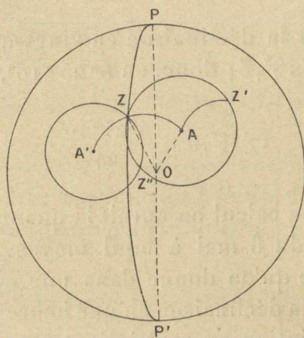
éléments relatifs au calcul du temps dont nous expliquerons l'usage lorsque nous aurons à les utiliser.

§ II. — OBSERVATIONS ET INSTRUMENTS.

I. — DÉTERMINATION DE LA POSITION RELATIVE DU ZÉNITH ET DES ASTRES.

75. Distance zénithale. — Supposons-nous placés au centre de la Terre, en O, et soit A un astre (*fig.* 27). Observons l'angle ZOA ; Z étant le zénith du point dont

Fig. 27.



nous cherchons la position. Cet angle est ce qu'on appelle la *distance zénithale* de l'astre.

Puisque nous connaissons la position de A sur la sphère céleste, nous aurons un lieu géométrique de la position du point Z en décrivant de A comme centre un petit cercle ayant la distance zénithale ZA pour rayon.

En d'autres termes, nous savons que le zénith Z se trouve quelque part sur ce petit cercle puisque pour tous les points tels que Z' de ce petit cercle on aurait la même distance zénithale que celle que nous avons observée.

Observons de même la distance zénithale ZA' d'un second astre A'. En répétant le raisonnement précédent nous trouverons que le point Z doit se trouver sur un petit cercle décrit de A' comme centre avec ZA' pour rayon. Le point Z est donc à l'intersection de ces deux petits cercles. Il est vrai qu'ils se coupent en un second point Z'' mais il ne saurait y avoir d'ambiguïté dans le point à choisir parce que l'on connaît toujours approximativement la position du zénith. Comme vérification on peut observer la distance zénithale d'un troisième astre qui donne un troisième petit cercle, qui doit couper les deux autres au point Z.

Ainsi la détermination de la position du zénith, connaissant celles des astres, se déduit de l'observation des distances zénithales de ces astres. Les positions des astres étant données par la *Connaissance des Temps*, en fonction de l'heure temps moyen de Paris, il faut que nous connaissions l'heure temps moyen de Paris à l'instant de l'observation des distances zénithales.

Les instruments doivent donc nous donner :

1° L'heure temps moyen de Paris, à l'instant de l'observation;

2° Les distances zénithales des astres.

Les premiers sont les *montres*, le second est le *théodolite*.

76. *Azimut.* — Nous aurons besoin, dans la suite, d'employer un élément astronomique qui achève de fixer

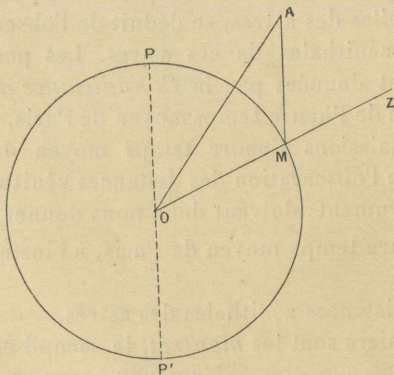
la position d'un astre par rapport au zénith. Cet élément est l'*azimut*.

L'azimut d'un astre A est l'angle du grand cercle ZA avec le méridien du point Z, ZP.

Cet angle se compte de 0° à 180° vers l'Est et vers l'Ouest à partir du méridien du lieu. On appelle de même *azimut d'un point terrestre* l'angle que fait le grand cercle passant par le zénith et ce point (et que l'on appelle le *vertical* du point parce qu'il contient OZ qui est la verticale du lieu) avec le méridien. On le compte de la même façon que celui d'un astre.

77. Parallaxe. — Dans ce qui précède, nous avons supposé que nous étions placés au centre O de la Terre (*fig.* 28) et que nous y observions les distances zéni-

Fig. 28.



thales. En réalité nous nous trouvons au point M de la surface et c'est là que nous faisons les observations.

Si nous observons un astre A, au lieu d'obtenir la distance zénithale ZOA, nous obtiendrons ZMA. Si l'astre est assez éloigné de la Terre pour que les droites OA et MA puissent être considérées comme parallèles, l'angle ZMA sera égal à ZOA et il n'y aura rien à changer à ce que nous avons dit plus haut. C'est le cas des étoiles.

Mais il n'en est plus ainsi pour le Soleil, la Lune et les planètes. Il faut donc corriger la distance zénithale observée pour en déduire celle que nous aurions observée du centre de la Terre, en lui retranchant le petit angle MAO que l'on appelle la *parallaxe*. L'angle ZMA, extérieur au triangle AMO, est en effet égal à AOM + MAO. On a donc :

Dist. zénith. corrigée = dist. zénith. observée — parallaxe.

La parallaxe de l'astre dépend de sa distance au centre de la Terre et de sa distance zénithale. *Les Tables III et IV de la* Connaissance des Temps *la donnent pour le Soleil et les planètes en fonction de la hauteur, c'est-à-dire du complément de la distance zénithale observée.*

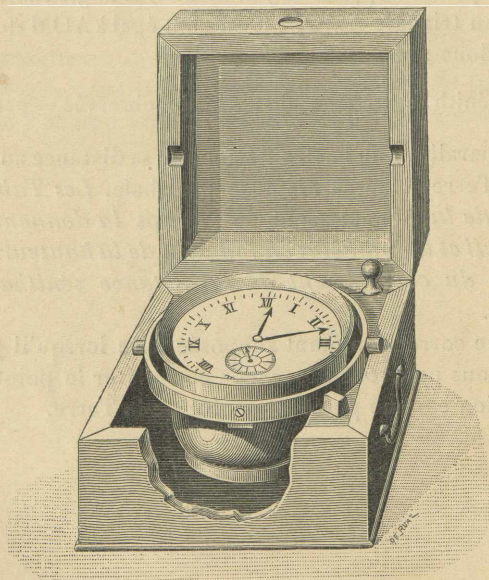
Cette correction étant supposée faite lorsqu'il y aura lieu, nous pourrons désormais considérer le point d'observation comme placé au centre de la Terre.

II. — Instruments donnant l'heure temps moyen de Paris.

78. Description. — Nous avons dit que ces instruments étaient les *montres*. Les montres sont réglées généralement sur le temps moyen, c'est-à-dire que douze heures de la montre, par exemple, équivalent à peu près à douze heures de temps moyen.

Les montres que l'on emploie dans la marine sont

Fig. 29.



appelées des *chronomètres* (*fig.* 29); leur mouvement bat la demi-seconde. Elles sont suspendues à la Cardan

dans une boîte cubique. Construites avec le plus grand soin, elles présentent toutes les garanties possibles, mais leur dimension rend leur transport par terre assez délicat, les chocs ou les déplacements brusques devant leur être absolument évités.

Les montres de poche ont l'avantage d'être plus maniables. Bien que n'offrant pas autant de garanties que les chronomètres, elles peuvent néanmoins donner de bons résultats. Il suffit, pour qu'elles puissent servir aux observations, que leur cadran des secondes ait une dimension suffisante pour que la lecture en soit facile. Les *montres de poche adoptées par la marine pour les torpilleurs* et qui sont à secondes trotteuses sont d'un modèle excellent à ce point de vue.

79. État absolu. — Réglons au départ la montre sur le temps moyen de Paris. Il faut entendre par là, non que nous la mettrons à l'heure de Paris (*les montres ne doivent jamais être remises à l'heure*) mais que nous déterminerons son *retard* sur le temps moyen de Paris.

Si l'heure marquée par la montre était plus grande que l'heure moyenne de Paris correspondante on ajouterait douze heures à cette dernière pour pouvoir faire la différence (cela n'a pas d'inconvénient parce qu'il est impossible de se tromper de douze heures sur l'heure de Paris). Ce retard s'appelle *l'état absolu de la montre sur le temps moyen de Paris* ou simplement *l'état absolu de la montre*. On le désigne par E.

D'une façon générale, on appelle *état de la montre sur le temps moyen d'un lieu* le retard de cette montre sur le temps moyen de ce lieu; le mot d'*état absolu* est

réservé au retard de la montre sur le temps moyen de Paris.

80. Marche. — La montre ne suivant jamais exactement le temps moyen, son état absolu varie d'un jour à l'autre; sa variation en vingt-quatre heures est la *marche* de la montre. On la désigne par m. Elle est positive si l'état absolu augmente, négative dans le cas contraire. Lors donc que la montre *avance*, comme son retard c'est-à-dire son état absolu diminue, la marche est *négative* : au contraire, lorsqu'elle *retarde*, la marche est *positive*.

81. État absolu à une heure quelconque de la montre. — Connaissant l'état absolu pour un jour et une heure déterminés ainsi que la marche, on aura cet état absolu, pour un autre jour et une autre heure donnés, en ajoutant au premier état absolu la variation de cet état pendant l'intervalle de temps qui sépare le jour et l'heure pour lesquels on le connaît, du jour et de l'heure pour lesquels on le cherche.

Par exemple, on a trouvé $E = 6^h 25^m 15^s{,}0$ le 5 janvier à $11^h 35^m 2^s{,}0$ de la montre, on demande son état absolu le 15 janvier à $4^h 23^m 42^s{,}0$ de la montre, sachant que sa marche $m = +1^s{,}2$? Pour avoir exactement l'intervalle et ne pas se tromper de douze heures, il faut chercher les heures temps moyen de Paris approchées qui correspondent aux deux instants. Le 5 janvier, l'heure temps moyen de Paris est

$$11^h 35^m 2^s{,}0 + 6^h 25^m 15^s{,}0 = \text{environ } 18^h.$$

Le 15 janvier c'est, l'état absolu ayant peu varié, envi-

ron $4^h 24^m + 6^h 25^m = 10^h 49^m$. L'intervalle qui sépare les deux instants est donc de (15 — 5) jours + (11 — 18) heures, c'est-à-dire 10 jours moins 7 heures ou 9 jours 17 heures, ou $9^j,71$ (en transformant les heures en dixièmes de jour, ce qui se fait en divisant 17 par 24). La variation de l'état absolu est donc

$$+1^s,2 \times 9,71 = +11^s,65,$$

et, par suite, l'état cherché est

$$6^h 25^m 15^s,0 + 11^s,65 = 6^h 25^m 26^s,65.$$

82. Heure temps moyen de Paris à une heure quelconque de la montre. — D'après ce qui précède nous aurons donc l'heure temps moyen de Paris un jour quelconque à une heure quelconque de la montre si nous connaissons son état absolu à une date antérieure et sa marche dans l'intervalle.

Ainsi, dans l'exemple précédent, l'heure temps moyen de Paris le 15 janvier à $4^h 23^m 42^s,0$ de la montre sera $4^h 23^m 42^s,0 + 6^h 25^m 26^s,65 = 10^h 49^m 8^s,65$.

Le problème revient donc à déterminer les états absolus et les marches.

83. Détermination des états absolus. — Nous avons vu (n° 73) que *l'heure temps moyen de Paris est égale à l'heure temps moyen d'un lieu, au même instant, diminuée de la longitude de ce lieu, si elle est Est, augmentée de cette longitude si elle est Ouest.*

Il en résulte que l'*état absolu est égal à l'état sur le temps moyen d'un lieu diminué de la longitude de ce lieu si elle est Est, augmenté de cette longitude si elle est Ouest.*

Il nous suffit donc, pour avoir l'état absolu, de connaître l'état de la montre sur le temps moyen d'un lieu de longitude connue.

Pour avoir l'état de la montre sur le temps moyen d'un lieu il suffirait de connaître l'angle horaire du Soleil moyen à une certaine heure marquée par la montre, puisque cet angle horaire est l'heure moyenne. On ne peut avoir directement cet angle horaire, mais on peut le déduire de l'angle horaire du Soleil vrai ou d'une étoile. Nous verrons plus loin comment on déduit cet angle horaire des observations. Supposons-le connu pour le moment; nous avons alors à résoudre, suivant qu'il s'agit du Soleil ou d'une étoile, l'un des deux problèmes suivants :

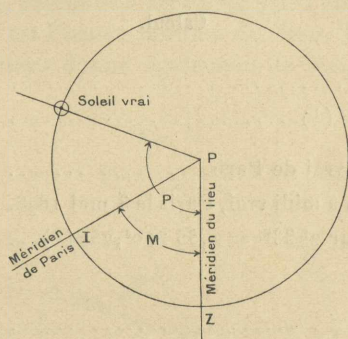
84. 1° *En un lieu de longitude connue* M, *on a, à une heure* H *marquée par la montre, l'angle horaire* P *du Soleil, en déduire l'état de la montre sur le temps moyen du lieu.*

La *Connaissance des Temps* donne pour chaque jour à midi vrai à Paris, c'est-à-dire pour l'instant du passage du Soleil vrai au méridien de Paris, dans la colonne intitulée *temps moyen* (page de gauche) l'angle exprimé en temps du méridien du Soleil moyen avec celui du Soleil vrai. On donne la valeur de cet angle quand le Soleil moyen est dans l'Ouest du Soleil vrai et sa différence à douze heures quand il est dans l'Est du Soleil vrai. Cet angle varie entre 0 et 15 minutes environ.

L'angle horaire du Soleil vrai à Paris est SPI (*fig.* 30); on l'obtiendra en retranchant de P la longitude M si elle est Est, en l'ajoutant si elle est Ouest. Nous avons dans la *Connaissance des Temps* l'angle des deux So-

leils pour midi vrai à Paris du jour et du lendemain; nous aurons donc sa variation correspondant à une variation de vingt-quatre heures de l'angle horaire du Soleil vrai; nous en déduirons sa variation correspondant à un

Fig. 30.



angle horaire du Soleil vrai, que l'on appelle aussi *heure temps vrai*, égal à SPI. Nous aurons donc l'angle des deux Soleils quand le Soleil vrai est en S et, par suite, l'angle horaire du Soleil moyen, c'est-à-dire l'heure moyenne du lieu.

La différence entre cette heure moyenne et l'heure de la montre donnera l'état cherché.

Exemple. — *En un lieu de longit.* M $= 0^h 28^m 3^s,0$ Est, *on a, le* 3 *mai* 1896 *à l'heure* H $= 3^h 32^m 12^s,5$ *de la montre, l'angle horaire* P $= 3^h 1^m 42^s,5$ *du Soleil, en déduire l'état de la montre sur le temps moyen du lieu.*

Calcul.

	h m s
P..................................	3. 1.42,5
Longitude Est (1)........................	0.28.03,0
Heure temps vrai de Paris..................	2.33.39,5
Temps moyen à midi vrai, Paris le 3 mai 1896.	11.56.41,23
Variation pour $2^h 33^m = 2,55 \times 0^s,252$ (2)...	0,63
	11.56.40,60
P..................................	3. 1.42,5
Heure temps moyen du lieu (3).............	2.58.23,1
Heure de la montre......................	3.32.12,5
État sur le temps moyen du lieu...........	11.26.10,6

Observations.

(1) Cette longitude sera ajoutée si elle est Ouest.

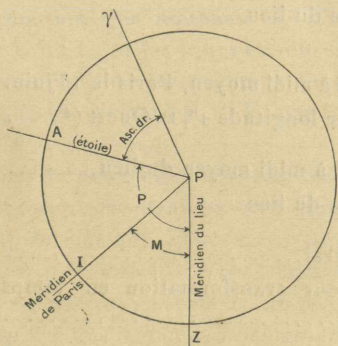
(2) On donne, dans la *Connaissance des Temps*, la variation pour une heure la correction est positive si le temps moyen augmente, négative dans le cas contraire.

(3) Ici le Soleil moyen étant dans l'est du Soleil vrai, il faudrait retrancher le complément à douze heures du temps moyen de l'angle P. Il revient au même d'ajouter le chiffre donné par la *Connaissance des Temps* et de retrancher douze heures de la somme.

85. 2° *En un lieu de longitude connue* = M *on a, à une heure* H *marquée par la montre, l'angle horaire* P *d'une étoile, en déduire l'état de la montre sur le temps moyen du lieu.*

La *Connaissance des Temps* donne, pour le jour de l'observation, l'ascension droite APγ de l'étoile (*fig.* 31); APγ + APZ est l'heure sidérale du lieu. La *Connaissance des Temps* donne également le temps sidéral à

Fig. 31.



midi moyen à Paris; on en déduit le temps sidéral à midi moyen du lieu en remarquant que, à cet instant, l'heure de Paris est la longitude de ce lieu si elle est Ouest, ou son complément à 24 heures, si elle est Est. La différence entre l'heure sidérale APγ + APZ et l'heure sidérale à midi moyen du lieu donne l'intervalle sidéral écoulé depuis midi moyen; en transformant cet intervalle en temps moyen, on a l'heure moyenne du lieu.

Exemple. — *En un lieu de longitude* M = $1^h 12^m 04^s,5$ Ouest, *on a le* 15 *juin* 1896, *à l'heure* H = $4^h 30^m 11^s,0$ *de la montre, l'angle horaire* P = $20^h 32^m 17^s,0$ *de* α^2 *Centaure, en déduire l'état de la montre sur le temps moyen du lieu.*

Calcul.

	h m s
P	20.32.17,0
Ascension droite α^2 Centaure	14.32.37,4
Heure sidérale du lieu	35.04.54.4
	11.04,54,4
Temps sidéral à midi moyen, Paris le 15 juin.	5.37.02,26
Variation pour longitude 1^h, 12 Ouest (¹)	+11,79
Temps sidéral à midi moyen du lieu	5.37.14,05
Heure sidérale du lieu	11.04.54,4
Intervalle sidéral	5.27,40,35
Correction pour transformation en temps moyen (²)	—53,68
Heure moyenne du lieu	5.26.46,67
Heure de la montre	4.30.11,00
État sur le temps moyen du lieu	0.56.35,67

Observations.

(¹) Cette variation s'obtient au moyen de la Table V de la *Connaissance des Temps;* c'est le chiffre qui correspond à $1^h 12^m$; elle a le signe — si la longitude est Est, + si elle est Ouest.

(²) Cette correction se trouve à la Table VI de la *Connaissance des Temps:* elle est toujours négative.

Comme nous l'avons dit plus haut, connaissant maintenant l'état de la montre sur le temps moyen du lieu et la longitude de ce lieu, nous en déduirons l'état absolu de la montre.

Ainsi le premier exemple nous donnera :

État de la montre sur le temps moyen du lieu	h m s 11.26.10,6
Longitude Est	0.28.03,0
État absolu de la montre	10.58.07,6

86. Détermination des marches. — Connaissant les états absolus E_1 et E_2 et les jours et heures de la montre auxquels ils ont été déterminés, nous aurons la marche dans l'intervalle en divisant $E_2 - E_1$ par la durée de cet intervalle.

La différence de deux états absolus observés dans un même lieu de longitude connue nous donne donc une marche; mais *on obtient également une marche au moyen de la différence de deux états sur le temps moyen d'un même lieu, même si la longitude de ce lieu n'est connue qu'approximativement.* Il résulte, en effet, de ce qui précède que la différence de ces deux états est égale à la différence des états absolus aux mêmes époques, et que, de plus, la connaissance approchée de l'heure de Paris et par suite de la longitude suffit pour le calcul.

On *aura également une marche au moyen de la différence des états absolus obtenus en deux points différents mais de longitudes connues,* ou *de la différence des états observés en deux points dont on connaît la différence de longitude.* Il suffit pour le com-

prendre de remarquer que l'état d'une montre sur le temps moyen d'un lieu est égal à l'état sur le temps moyen d'un autre lieu, augmenté de la différence de longitude si le premier point est dans l'Est du second, diminué de cette différence s'il est dans l'Ouest. Cela résulte de suite de la considération de la différence des heures des deux points au même instant.

Il faudra avoir soin de ne déterminer les marches qu'avec des états déduits tous les deux d'angles horaires observés du même côté du méridien.

87. **Nécessité d'avoir plusieurs montres.** — Dans un voyage d'exploration, on part d'un point de position géographique connue pour revenir à un autre point de position connue. Si, au départ et à l'arrivée, on détermine les états absolus de la montre, on en déduira la marche moyenne pendant la durée du voyage. La position géographique d'un point déterminée pendant le voyage dépend de l'état absolu de la montre au moment des observations et par suite de cette marche.

Malheureusement, cette marche n'est jamais constante : elle varie avec la température et le temps, suivant des lois difficiles à déterminer sans faire une étude approfondie de la montre, et de plus elle est sujette à des variations brusques que l'on appelle des *sauts*, sous l'influence des chocs ou des mouvements de déplacement violents de l'instrument. La marche pendant le transport diffère toujours plus ou moins de la marche au repos, en sorte que l'on ne peut conclure, de l'observation de la marche pendant le séjour en un point, la marche pendant le voyage effectué pour arriver à ce point. Il est donc indispensable de se rendre compte,

autant que possible, des variations journalières de la marche et cela ne peut se faire qu'en comparant entre elles les marches de plusieurs montres.

88. **Comparaisons.** — Comparer deux montres A et B, c'est chercher quelle est, à l'heure marquée par la montre A, l'heure marquée par la montre B. Soit E_A l'état absolu de A à l'heure de la comparaison, E_B celui de la montre B; l'heure, temps moyen de Paris à cet instant, sera

$$A + E_A = B + E_B,$$

d'où

$$A - B = E_B - E_A.$$

Faisons une nouvelle comparaison le lendemain, à peu près à la même heure. Soient A' et B' les heures marquées par les deux montres à cet instant. L'état absolu de la montre A sera $E_A + m_A$ (m_A étant la marche de cette montre); celui de la montre B sera $E_B + m_B$. On a donc

$$A' + E_A + m_A = B' + E_B + m_B,$$

d'où

$$A' - B' = E_B - E_A + m_B - m_A,$$

et, par suite,

$$(A' - B') - (A - B) = m_B - m_A.$$

Si donc on fait chaque jour les différences $A - B$, $A' - B'$, etc. et les différences successives de ces différences, on aura les valeurs des différences journalières des marches des deux montres.

Les comparaisons doivent se faire tous les jours, autant que possible à la même heure, après le remontage des montres.

1897.	A.	B.	A — B.	DIFFÉRENCES.	A.	C.	A — C.	DIFFÉRENCES.	TEMPÉRATURE.
Mars									
16..........	2.45.30,0	3.22.02,5	11.23.27,5						
	2.45.50,0	3.22.22,6	11.23.27,4						22°,5
			11.23.27,4						
17..........	2.50.20,0	3.26.58,8	11.23.21,2						
	2.50.50,0	3.27.28,9	11.23.21,1						23°,7
			11.23.21,1	−6.3					

On opère de la façon suivante : Soit à comparer le chronomètre A avec le chronomètre ou la montre B. On suit des yeux l'aiguille des secondes de A jusqu'à ce qu'elle arrive à l'une des divisions 0, 10, 20, ..., 50. A ce moment, on applique l'oreille contre le chronomètre et l'on continue à compter mentalement les battements *a*. 1, *a*.2, *a*.3, ..., *a*.10, en suivant des yeux l'aiguille des secondes de B. On note la seconde et la fraction de seconde qu'indique cette aiguille au moment où l'on a entendu le battement 10 de A et l'on écrit ensuite sur le cahier les minutes et l'heure de B. On écrit de même les secondes, minutes et heures de A qui correspondent au battement 10. On répète au moins deux ois cette opération.

Si l'on n'a pas de chronomètre et que l'on ait à comparer deux montres A et B, il faut avoir un aide qui suive B. On suit soi-même A et, au moment où l'aiguille arrive sur l'un des chiffres 0, 10, ..., 50 du cadran des secondes, on crie : *top*. A cet instant l'aide fait la lecture de B.

On tiendra un cahier de comparaisons que l'on pourra disposer de la façon ci-dessus.

89. Choix des marches à employer. — Si l'on ne peut adopter absolument, comme marche d'une montre, une marche constante égale à la marche moyenne pendant la durée du voyage, il est d'autre part assez délicat de faire des modifications à cette marche. Il n'existe pas à cet égard de règles précises et l'on ne peut se baser que sur des indications plus ou moins valables. Il faudra donc être très réservé quant aux corrections à apporter à la marche moyenne. On pourra, si on le juge utile, se baser pour le faire sur les remarques suivantes :

La marche d'une montre varie avec la température

d'une façon assez régulière. Si l'on a pu l'observer pendant un certain temps, avant le départ, à des températures variables, on en pourra conclure des indications sur la variation de sa marche avec la température que l'on aura eu soin de noter chaque jour pendant le voyage. *L'influence du temps* écoulé depuis le départ sur la marche doit se faire sentir d'une façon analogue sur les marches en cours de transport et sur les marches au repos. Si donc on a déterminé la marche pendant le séjour en un ou plusieurs points intermédiaires, on pourra se servir de ces marches pour avoir une idée du sens de la variation de la marche moyenne dans le cours du voyage.

Il faudra, lors de la détermination de la position géographique des points intermédiaires, les calculer séparément pour chaque montre. On aura ainsi autant de résultats que de montres. Les comparaisons serviront à savoir quelle importance il faudra attribuer à chaque résultat, en donnant une idée de la régularité de leur marche. Il est évident, en effet, que si deux montres ont des marches régulières leurs différences de marche seront régulières ; si, au contraire, les différences A — B, par exemple, sont très irrégulières, les différences A — C étant régulières, c'est que la montre B a une mauvaise marche et les résultats qu'elle donnera, sans être complètement écartés, devront néanmoins être considérés comme n'ayant pas la valeur de ceux donnés par les autres montres.

M. Caspari, dans son *Cours d'Astronomie pratique*, a donné, dans le Chapitre relatif aux chronomètres et dans celui de la détermination des longitudes, tous les renseignements possibles sur le choix à faire de ces

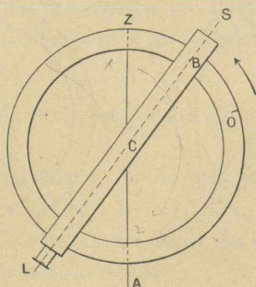
marches. Nous y renvoyons pour le cas où l'on désirerait faire une étude plus approfondie de cette question très complexe.

On voit donc que le calcul de la position géographique des points intermédiaires ne pourra se faire, en toute connaissance de cause, qu'au retour du voyage. Néanmoins on pourra calculer approximativement ces positions au fur et à mesure des observations en employant une marche approchée de chaque montre, quitte à les rectifier au retour.

III. — Instrument donnant les distances zénithales.

90. Mesure des distances zénithales. — Soit un axe AZ dirigé suivant la verticale du lieu (*fig.* 32) et portant un cercle divisé C dont le centre est sur cet axe.

Fig. 32.



Ce cercle est divisé en degrés et fractions de degré, le zéro de la graduation étant en O et la graduation croissant dans le sens de la flèche. Une lunette LB peut tour-

ner autour du centre C dans un plan parallèle à celui du cercle. Visons à l'aide de cette lunette l'astre S dont nous cherchons la distance zénithale et lisons, sur le cercle C, la division B qui correspond à la direction de la lunette.

Si nous connaissions la division Z qui correspond à la direction qu'aurait la lunette si elle était dirigée vers le zénith, la différence OZ — OB serait la distance zénithale de l'astre. Cette division Z peut être déterminée comme nous le verrons plus loin, mais on peut aussi s'en passer et déterminer la distance zénithale en opérant de la façon suivante :

91. Faisons tourner le cercle C et la lunette de 180° autour de l'axe AZ. Nous avons la *fig.* 33.

Fig. 33.

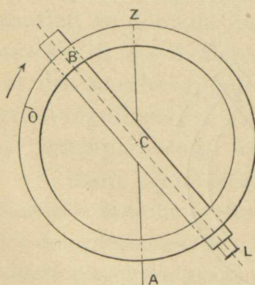
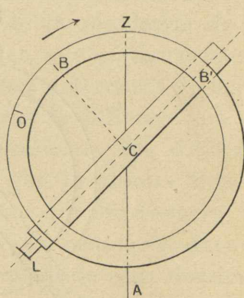


Fig. 34.



Faisons maintenant tourner la lunette autour de l'axe C, de façon à viser de nouveau l'astre S (*fig.* 34). Lisons la division B′ à laquelle correspond la lunette. On voit que la différence des angles OCB′ et OCB, c'est-à-dire

la différence des deux lectures, donne le double de la distance zénithale cherchée.

Pour que cette conclusion soit exacte, il faut supposer que, dans l'intervalle des deux observations, l'astre n'a pas bougé. Cela n'a jamais lieu, mais dans la pratique on admet que la position de l'astre dans le Ciel, qui correspond à la distance zénithale ainsi obtenue, est celle qui correspond à la moyenne des heures des deux observations.

92. Il résulte de cette méthode que si nous voulons avoir la division Z, qui correspondrait à la visée du zénith, il suffira de viser un point fixe dans les deux positions, comme nous l'avons fait pour l'astre, et de faire la demi-somme des lectures. En effet

$$OZ = \frac{OB + OB'}{2}.$$

93. **Principe du théodolite.** — Il faut donc que l'instrument qui nous servira à observer les distances zénithales comporte :

1° Un axe AZ que l'on puisse diriger suivant la verticale du lieu;

2° Un cercle divisé C porté par cet axe et dont le centre soit sur cet axe;

3° Une lunette tournant autour du centre C, dans un plan parallèle au cercle divisé.

Cet instrument comporte de plus un cercle divisé perpendiculaire à l'axe AZ et qui ne nous servira pas pour les distances zénithales, mais nous devons le mentionner parce qu'il aura son utilité plus loin.

94. Différentes formes de théodolites. — Dans ce qui

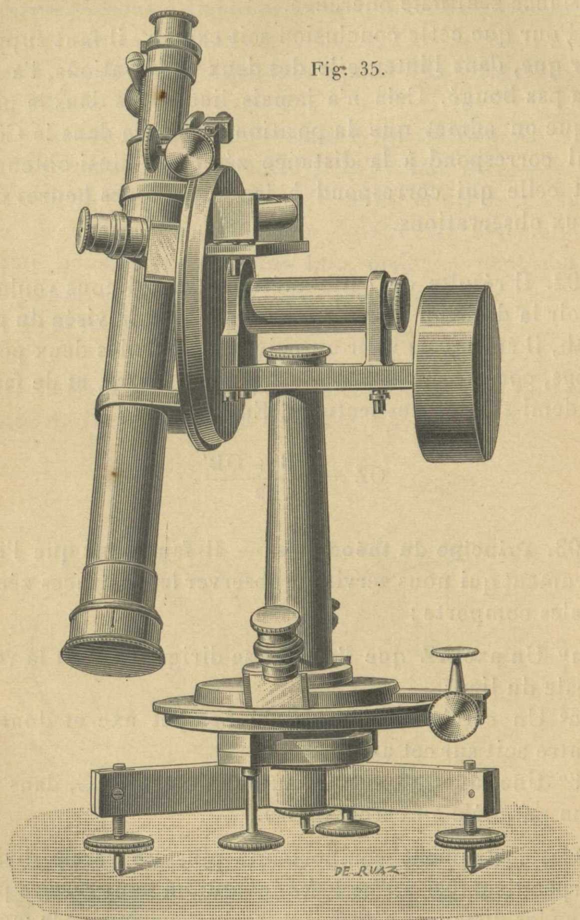
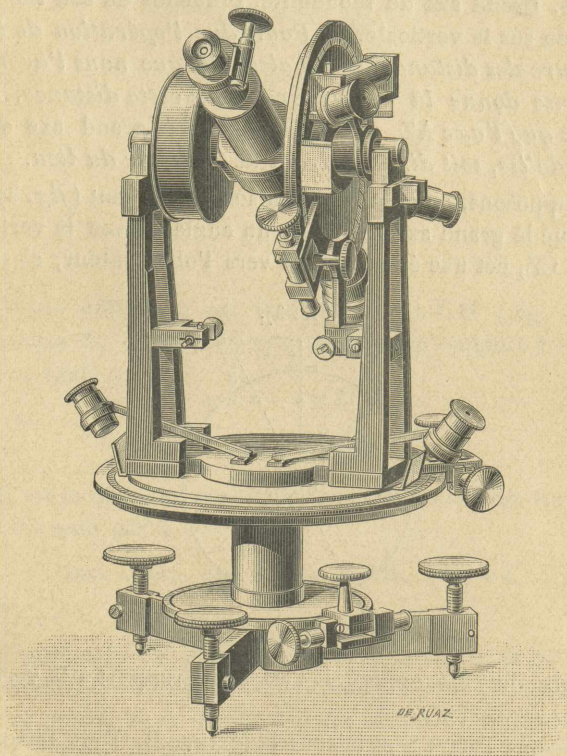


Fig. 35.

va suivre nous parlerons surtout du théodolite *à lunette*

excentrique (*fig.* 35), ainsi nommé parce que la lunette se déplace dans un plan parallèle à l'axe AZ et non dans le plan de cet axe, comme dans le modèle de la *fig.* 36, que l'on appelle *à lunette centrale.*

Fig. 36.



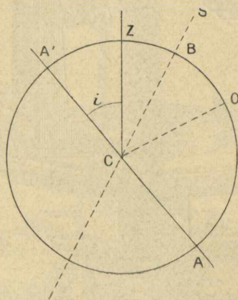
Ce dernier instrument a l'inconvénient de ne permettre que difficilement l'observation des astres dont

la distance zénithale est petite, l'observateur étant alors gêné par le plateau inférieur. Ce que nous dirons du premier modèle s'appliquera d'ailleurs au second, sauf dans quelques cas que nous signalerons.

95. Grand axe du théodolite. Influence de son inclinaison sur la verticale. — *Pour que l'opération de la mesure des distances zénithales telle que nous l'avons décrite donne la valeur exacte de cette distance, il faut que l'axe* AZ, *que l'on appelle le* grand axe *du théodolite, soit dirigé suivant la verticale du lieu.*

Supposons, en effet, qu'il en soit autrement (*fig.* 37) et que le grand axe AA′ fasse un angle i avec la verticale CZ, cet axe étant incliné vers l'observateur, c'est-

Fig. 37.

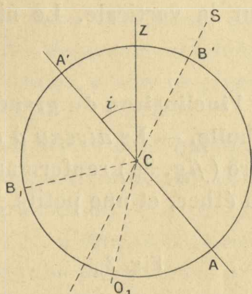


à-dire du côté opposé à l'astre par rapport à la verticale.

Visons l'astre S et faisons la lecture B. Puis faisons tourner l'instrument de 180° autour du grand axe AA′ (*fig.* 38); B vient en B_1, de façon que $B_1CA' = BCA'$; O vient en O_1, de façon que $O_1CA' = OCA'$. Visons

maintenant de nouveau l'astre S et faisons la lecture B′ : la différence des deux lectures $O_1CB' - O_1CB_1$ n'est pas le double de la distance zénithale.

Fig. 38.



Cette différence est égale à $2 \times A'CB'$ (*fig.* 38), puisque B_1 et B′ sont symétriques par rapport à AA′, donc égale à

$$2 \times i + 2 \times ZCB'.$$

Or

$$ZCB' = ZCB$$

qui est la distance zénithale vraie ; on peut donc écrire, en divisant par 2,

$$\text{Dist. zénith. obs.} = \text{dist. zénith. vraie} + i.$$

Donc :

Pour avoir la distance zénithale vraie, si le grand axe est incliné vers l'observateur, il faut retrancher de la moitié de la différence des lectures l'inclinaison de l'axe sur la verticale.

On démontrerait de même que :

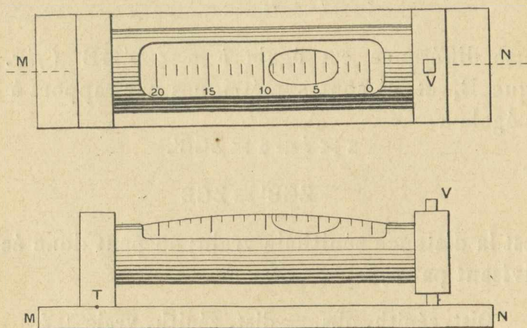
Pour avoir la distance zénithale vraie, si le grand

axe est incliné vers l'astre, il faut ajouter à la moitié de la différence des lectures l'inclinaison de l'axe sur la verticale.

Il nous faut donc un moyen de mesurer l'inclinaison du grand axe sur la verticale. Le niveau à bulle le donne.

96. Mesure de l'inclinaison du grand axe sur la verticale. Niveau à bulle. — Le *niveau à bulle* se compose d'un tube de verre (*fig.* 39) renfermant un liquide très mobile, alcool ou éther, et une petite bulle gazeuse. Il

Fig. 39.



est porté par une monture fixée au grand axe et son axe longitudinal MN est dans un plan parallèle à celui du cercle divisé.

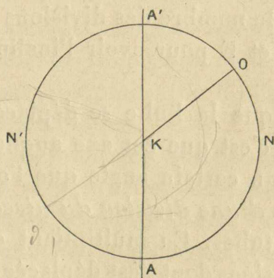
La position du tube, par rapport au grand axe, peut être modifiée très légèrement à l'aide de la vis V qui le fait tourner autour de T et par suite osciller par rapport à la monture qui est fixée à ce grand axe.

Le tube de verre est creusé à l'intérieur de façon qu'une section que l'on en ferait par un plan passant par son axe longitudinal serait un arc de cercle de très grand rayon. Il porte à sa surface des divisions équidistantes, d'une longueur arbitraire, qui permettent de se rendre compte des déplacements de la bulle. La graduation de ces divisions a son origine à l'une des extrémités.

Si, comme cela arrive pour quelques instruments, le niveau porte une partie médiane non divisée, à partir de laquelle la graduation de la division va en croissant vers les extrémités, il faut, soit faire changer le niveau, soit coller sur le tube une division graduée comme nous venons de l'indiquer.

Supposons d'abord que la bulle gazeuse soit réduite à un point, ou, ce qui revient au même, ne considérons que le milieu de cette bulle. Soit AA′ le grand axe (*fig.* 40) et NN′ la section du tube du niveau passant

Fig. 40.

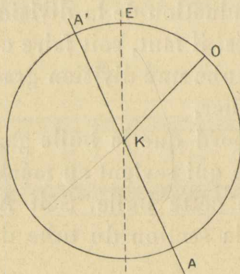


par cet axe et l'axe longitudinal du niveau. Traçons le cercle entier de centre K dont la section intérieure du

tube du niveau n'est qu'un arc, et, pour plus de simplicité dans la figure, supposons le centre K sur le grand axe. Soit O l'origine de la graduation du niveau.

Si le grand axe est vertical, la bulle, se maintenant toujours au point le plus élevé du niveau, sera en A′ sur cet axe. Si l'axe n'est pas vertical (*fig.* 41), la bulle sera en E, en dehors de l'axe. Si nous pouvions savoir à quelle division du niveau correspond le point A′, il

Fig. 41.



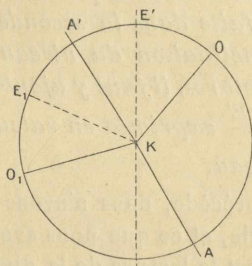
suffirait de lire le nombre des divisions du niveau comprises entre A′ et E pour avoir l'inclinaison du grand axe.

En effet, lorsque la bulle se déplace d'une division dans le niveau, c'est que cet axe auquel ce niveau est lié s'incline d'un certain angle que l'on appelle la *valeur angulaire d'une division du niveau*. Cette valeur varie avec les tubes. En multipliant cet angle par le nombre de divisions dont s'est déplacée la bulle lorsque l'axe passe d'une inclinaison à une autre, on a l'angle de ces deux inclinaisons. Nous verrons plus loin comment on détermine cette valeur angulaire.

97. Mais nous ne connaissons pas la division A′. On opère alors de la façon suivante :

Après avoir fait la lecture E, on fait tourner le niveau de 180° autour du grand axe (*fig.* 42) : les divisions O et E viennent en O_1 et E_1, symétriques de O et E par

Fig. 42.



rapport à ce grand axe, et la bulle vient occuper la division E′ qu'on lit. On voit que la différence des lectures $\frac{E-E'}{2} = \frac{O_1E_1 - O_1E'}{2} = A'E'$, c'est-à-dire l'inclinaison de l'axe sur la verticale. Si E′ est plus grand que E, l'axe sera incliné, comme l'indique la figure, du côté opposé au zéro de la graduation dans la première position ; si E′ est plus petit que E, l'axe sera incliné vers le zéro de la graduation.

Si donc, dans la première observation, nous avons placé le zéro de la graduation du côté de l'astre, et que E — E′ soit plus grand que zéro, l'axe sera incliné vers l'astre, et nous avons vu plus haut que, dans ce cas, il faut ajouter l'inclinaison de l'axe, c'est-à-dire $\frac{E-E'}{2}$, à la moitié de la différence des lectures. On démontrerait de même que si E′ est plus grand que E, il faut re-

trancher $\frac{E'-E}{2}$, c'est-à-dire encore ajouter $\frac{E-E'}{2}$ à la moitié de la différence des lectures. D'où la règle simple :

Placer dans la première observation le zéro de la graduation du niveau du côté de l'astre. Soit E *la lecture du niveau dans cette position ; soit* E' *la lecture du niveau faite dans la seconde position. Pour corriger de l'inclinaison du niveau la moitié de la différence des lectures, il faut y ajouter avec son signe la quantité* $\frac{E-E'}{2}$ *exprimée en valeur angulaire des divisions du niveau.*

Dans ce qui précède, nous n'avons considéré que le milieu de la bulle, et ce que nous avons appelé la *lecture du niveau* est la lecture de la division qui correspond à ce milieu. Dans la pratique, on ne peut lire que les extrémités de la bulle. *On adopte alors, comme lecture du milieu de la bulle, la moyenne des lectures des extrémités de cette bulle.*

98. **Rendre le grand axe vertical.** — Nous ne nous sommes occupés jusqu'à présent que de l'inclinaison du grand axe dans un plan passant par cet axe et l'astre. Nous avons vu qu'il suffisait que ce grand axe soit à peu près dirigé suivant la verticale de ce plan, puisque le niveau nous permet de corriger les observations de l'influence de cette inclinaison. Mais le niveau ne peut donner que la valeur de très petites inclinaisons ; il faut donc que nous placions tout d'abord l'axe le plus près possible de cette verticale. Comme, de plus, nous aurons à observer plusieurs astres et qu'il faut que le grand axe soit très près de la verticale dans les plans passant

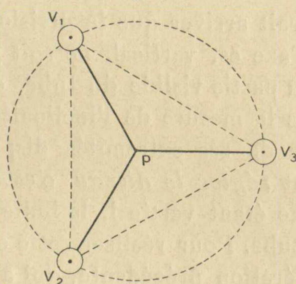
par lui et ces astres, il faut qu'il soit le plus près possible de la verticale du lieu.

Il faut donc réaliser cette condition avant de commencer les observations.

On démontre, en Géométrie, que, pour qu'une droite soit verticale, il faut et il suffit qu'elle soit perpendiculaire à deux horizontales.

Le grand axe est porté par trois vis calantes représentées en projection horizontale (*fig.* 43), placées aux sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans un cercle

Fig. 43.



dont le centre est le pied P de l'axe. Nous allons d'abord rendre le grand axe perpendiculaire à l'horizontale du plan qui passe par V_3 et cet axe.

Plaçons d'abord l'axe longitudinal du niveau, en le faisant tourner autour du grand axe, dans la direction PV_3. En agissant sur la vis V_3, amenons la bulle à peu près au milieu de la partie visible du niveau et faisons la lecture E de la bulle. Puis faisons tourner le niveau de 180° autour du grand axe, de façon à ramener de nouveau l'axe longitudinal dans la direction PV_3, et faisons la lecture E' de la bulle. Nous avons vu que

l'inclinaison du grand axe sur la verticale est $\frac{E - E'}{2}$ et que le signe de cette différence donne le sens de cette inclinaison. Si donc, en agissant sur la vis V_3, qui fait basculer le grand axe et avec lui le niveau qui y est fixé, nous faisons parcourir dans le sens convenable $\frac{E - E'}{2}$ divisions à la bulle, ce qui revient à l'amener à la division $\frac{E + E'}{2}$, la bulle sera sur l'axe et l'axe sera vertical. Il sera, par suite, perpendiculaire à l'horizontale du plan qui passe par V_3 et lui.

99. Il pourrait arriver que la division qu'occupe la bulle, quand l'axe est vertical, ne soit pas à peu près au milieu de la partie visible du tube, et cela pourrait faire que, dans la mesure de l'inclinaison de l'axe, la bulle ou l'une de ses extrémités disparaîtrait. Pour l'éviter, il faut *régler le niveau,* c'est-à-dire faire en sorte que, l'axe étant vertical, la bulle soit à peu près au milieu du tube. Pour réaliser cette condition, après avoir fait l'opération précédente, qui a rendu le grand axe vertical, il suffit d'amener, en agissant sur la vis du niveau, la bulle qui occupait la division $\frac{E + E'}{2}$ à la division E, que nous avons supposée être au milieu du tube.

Si, lorsque l'on veut faire la lecture E', comme nous l'avons indiqué plus haut, l'une des extrémités de la bulle disparaît, on prend pour E et pour E' les lectures de l'extrémité de la bulle visible dans les deux cas, et l'on règle le niveau et l'axe, comme nous l'avons fait en employant le centre de la bulle, à l'aide de cette extrémité seule. Mais alors il faut que cette division E

à laquelle on ramène l'extrémité soit distante, du milieu du tube, de la moitié de la longueur de la bulle.

Dans la pratique, le réglage du niveau se fait, une fois pour toutes, avant la première observation ; le niveau ne bouge plus ensuite par rapport à l'axe, à moins de chocs violents.

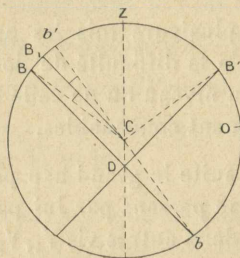
On doit répéter plusieurs fois les opérations précédentes, en raison de la difficulté de donner à la bulle, à l'aide de la vis du niveau ou de celle du pied, les déplacements exactement convenables.

100. On rend ensuite le grand axe perpendiculaire à l'horizontale du plan passant par lui parallèlement à la droite qui joint les deux autres vis V_1, V_2. On place l'axe longitudinal du niveau en le faisant tourner autour du grand axe, parallèlement à cette droite $V_1 V_2$, et l'on répète les opérations que nous avons faites en le faisant basculer au moyen des deux vis V_1 et V_2. Il y a intérêt à tâcher de faire monter l'une des vis autant que l'on abaisse l'autre, pour que le grand axe tourne bien autour de son pied P. Il faut pour cela faire tourner les têtes des deux vis en sens contraire d'angles autant que possible égaux. On n'y arrive généralement pas et cela a pour conséquence de dérégler l'axe dans le plan qui passe par lui et V_3. On recommence alors l'opération que nous avons indiquée plus haut, pour le réglage dans ce plan. Puis on recommence de nouveau dans le plan parallèle à $V_1 V_2$ et ainsi de suite, jusqu'à ce que, en faisant tourner lentement le niveau autour du grand axe, la bulle reste sensiblement immobile.

101. Cercle divisé. — Le cercle divisé porté par l'axe doit avoir son centre sur l'axe de rotation de la lunette.

Cette condition est indispensable pour que la différence des lectures de l'index qui est fixé à la lunette donne exactement le double de la distance zénithale. Si, en effet (*fig.* 44), la lunette tournait autour de D,

Fig. 44.



l'angle à obtenir serait BDB′, tandis qu'on lirait sur le cercle BCB′.

On ne peut pas s'assurer de ce centrage, mais on peut faire disparaître cette erreur par la disposition suivante : au lieu de porter un seul index B, la lunette en porte deux, B et *b*. Si le centre du cercle coïncidait avec l'axe D, les lectures de ces deux index différeraient exactement de 180°. Si elles diffèrent de 180°, moins un angle e, cet angle représente l'arc Bb', et pour avoir la lecture OB_1 que l'on aurait dû faire (CB_1 est parallèle à Bb), il faut retrancher $\frac{e}{2}$ de la lecture B. La lecture exacte est donc

$$\frac{OB + OB'}{2} = \frac{OB + (Ob - 180)}{2}.$$

On l'obtiendra donc en faisant la moyenne des lectures du premier index et de celle du second index di-

minuée de 180°. Cette opération se fait très simplement, l'angle e étant très petit, ce qui fait que les lectures de B et de b ne diffèrent que de 180°, plus ou moins quelques fractions de degré.

Par exemple :

1er index.	2e index.
60°25′10″,0.	240°24′50″,0.

Lecture adoptée.

$$60^\circ + \frac{25'10'',0 + 24'50'',0}{2} = 60^\circ 25'00'',0.$$

Ayant ainsi rectifié les lectures qui correspondent à chacune des observations, la différence donnera bien le double de la distance zénithale.

Même dans les instruments bien construits, cette erreur de centrage n'est jamais négligeable, et l'on doit toujours faire la lecture des deux index. C'est, d'ailleurs, une vérification pour la lecture.

102. Différents modes de graduation du cercle divisé. — Nous avons supposé, dans l'exposé de la méthode d'observation des distances zénithales, que la division était graduée de 0° à 360° dans un certain sens.

Examinons ce qui arrive si la graduation est disposée autrement :

1° Il est évident que, si le sens de la graduation était inverse de celui qui est indiqué sur la *fig.* 32, on obtiendrait de même, par la différence des lectures, le double de la distance zénithale.

2° Si le zéro de la graduation (allant de 0° à 360°) est plus près du zénith que l'astre dans la première obser-

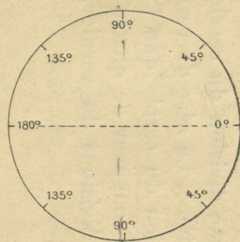
vation, on obtient, par la différence des lectures, non plus le double de la distance zénithale, mais le complément à 360° de cette quantité, et la moitié nous donnerait le complément à 180° de la distance zénithale. Pour éviter toute confusion, il suffit de remarquer que la distance zénithale est toujours plus petite que 90°, et, par suite, *si, en faisant la moitié de la différence des lectures, on obtient une valeur plus grande que* 90°, *la distance zénithale cherchée est le complément à* 180° *de cette valeur.*

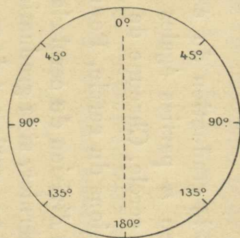
3° Il existe des cercles divisés sur lesquels le zéro de la graduation correspond à peu près, soit à la verticale, soit à l'horizontale du centre, la graduation allant en croissant dans les deux sens de 0° à 180°. *Si, dans ce cas, le zéro correspond à l'horizontale, la différence des lectures donnera encore le double de la distance zénithale. Si le zéro correspond à la verticale, il faut, au lieu de faire la demi-différence des lectures, faire leur demi-somme pour avoir la distance zénithale.*

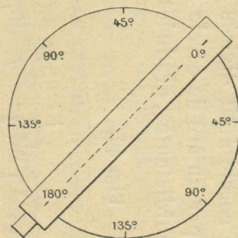
4° Enfin, il existe des théodolites, généralement à lunette centrale, dont le cercle se déplace avec la lunette devant un index fixe. Ce que nous venons de dire, dans le cas où la graduation va de 0° à 360°, s'appliquera sans changement si la graduation, dans le cas qui nous occupe, va également de 0° à 360°. Dans le cas où la graduation va de 0° à 180° dans les deux sens : *Que le zéro soit dans le plan de l'axe de la lunette ou dans le plan perpendiculaire à cet axe passant par le centre du cercle, la demi-différence des lectures donne la distance zénithale.*

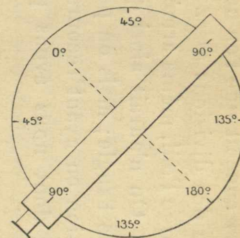
Nous résumons les deux derniers paragraphes dans le Tableau suivant :

Fig. 45.









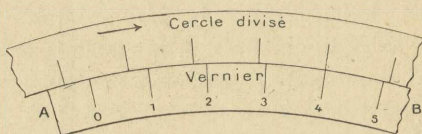
DISTANCE ZÉNITHALE =

$\frac{1}{2}$ différence des lectures. $\frac{1}{2}$ somme des lectures. $\frac{1}{2}$ différence des lectures.

103. Vernier. — On conçoit que l'on ne puisse marquer sur le cercle que des divisions assez éloignées les unes des autres pour que l'œil, même armé d'une loupe, puisse les distinguer. On n'aurait ainsi qu'une valeur trop peu approchée de l'angle ; mais on peut aller plus loin dans son application en ayant recours au *vernier*, qui remplace l'index dont nous avons parlé jusqu'à présent.

Supposons que l'on veuille faire une lecture comme si chaque division du cercle était divisée en n parties. L'index est remplacé par un arc de cercle AB (*fig.* 46) portant n divisions équidistantes, graduées à partir de o

Fig. 46.



dans le sens où croît la graduation du cercle. On les obtient en divisant en n parties égales la longueur de $n - 1$ divisions du cercle. Chacune de ces divisions vaut donc $\frac{n-1}{n}$ divisions du cercle. Pour faire la lecture, on lit d'abord la division du cercle la plus voisine à gauche du zéro du vernier, si la graduation du cercle, comme sur la figure, va en croissant de gauche à droite ; puis on cherche sur le vernier la division qui se trouve en prolongement d'une division du cercle. Supposons que ce soit la quatrième. Le zéro du vernier est donc à droite de la division du cercle que l'on a lue de la différence entre la longueur de quatre divisions du cercle et de quatre divisions du vernier, c'est-à-dire

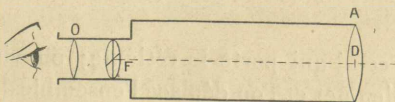
de $4 - 4\frac{n-1}{n} = 4$ $n^{\text{ièmes}}$ d'une division du cercle. Donc en lisant ainsi, c'est comme si nous avions lu sur une division du cercle dont les divisions actuelles auraient été divisées en n parties égales.

S'il n'y a pas coïncidence absolue entre une division du vernier et une division du cercle, il y a toujours deux divisions du vernier comprises entre deux divisions du cercle, et l'on prend alors, comme lecture du vernier, la demi-division du vernier qui serait comprise entre les deux précédentes. Si ces divisions étaient 3 et 4 par exemple, on prendrait 3,5 et le zéro serait alors à droite de la division du cercle de $3\,n^{\text{ièmes}} + \frac{1}{2}\,n^{\text{ièmes}}$ de la division du cercle. L'approximation est donc plus grande dans ce cas.

La lecture du vernier est facilitée par une loupe, qu'il faut avoir soin de placer exactement au-dessus du trait du vernier en coïncidence, pour éviter que l'obliquité du rayon visuel ne fasse commettre d'erreur sur cette coïncidence.

104. Lunette. — Une lunette astronomique se compose essentiellement d'une lentille convergente A que l'on appelle *l'objectif* (*fig.* 47), qui donne de l'objet visé une image renversée à son foyer F ou en un point

Fig. 47.



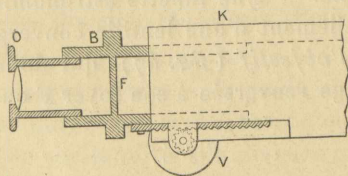
très voisin. En ce point est placé le *réticule,* qui se compose de deux fils, ou de deux traits tracés sur une plaque

de verre, se coupant à angle droit, dont l'un est horizontal et l'autre vertical. L'ensemble de ces fils et l'image de l'objet sont regardés par l'observateur au moyen d'une loupe O que l'on appelle l'*oculaire*.

L'*axe optique* d'une lunette est la droite qui joint le centre optique D de l'objectif à la croisée F des fils du réticule. Lorsque l'image d'un point visé se fait sur la croisée des fils du réticule, le point est sur l'axe optique de la lunette et la direction de ce point est ainsi bien définie.

105. Mise au point de la lunette. — Pour arriver à placer exactement l'image d'un point sur la croisée des fils du réticule, il faut que cette image se fasse dans le plan du réticule et que l'observateur voie nettement les fils et cette image. Pour y parvenir, on commence par chercher à voir nettement les fils, ce qui se fait en rapprochant ou éloignant l'oculaire O du réticule F (*fig.* 48), le tube qui porte l'oculaire se déplaçant à frottement

Fig. 48.



doux dans celui qui porte le réticule; on vise ensuite un point bien net et l'on déplace l'ensemble des tubes O et B, à l'aide de la vis à crémaillère V, par rapport au tube K, qui porte l'objectif, jusqu'à ce que l'on voie nettement l'image de ce point. On l'amène, en déplaçant

la lunette sur la croisée des fils du réticule. Si la mise au point est bien réalisée, en déplaçant légèrement l'œil devant l'oculaire, l'image du point ne paraît pas bouger par rapport aux fils.

106. Rectification de la lunette. — Dans l'exposé de la méthode de mesure des distances zénithales, nous avons supposé que la lunette, dans son mouvement de rotation autour du centre C, décrivait un plan parallèle au grand axe du théodolite. Les conclusions auxquelles nous sommes arrivés ne seraient pas rigoureusement exactes s'il en était autrement. Il faut entendre par « la lunette », son axe optique, puisque c'est cet axe qui détermine la direction du point visé. *Il faut donc que l'axe optique de la lunette décrive dans sa rotation un plan parallèle au grand axe.* Or, cette condition est réalisée quand, l'axe de rotation de la lunette étant perpendiculaire au grand axe, l'axe optique de la lunette est perpendiculaire à son axe de rotation.

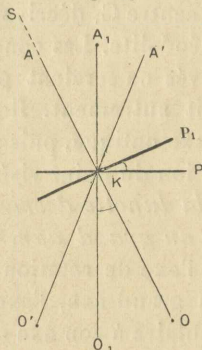
La rectification de l'axe de rotation de la lunette est en général réalisée par les constructeurs : d'ailleurs, la plupart des instruments ne portent pas de disposition qui permette de rendre cet axe perpendiculaire au grand axe lorsqu'il ne l'est pas rigoureusement. De plus l'erreur qui pourrait de ce fait entacher les observations disparaît par suite de la méthode des distances zénithales doubles que nous avons décrite. Nous n'insisterons donc pas sur cette rectification.

On appelle *collimation* l'angle que fait l'axe optique de la lunette avec la perpendiculaire à son axe de rotation. Bien que la méthode des distances zénithales doubles élimine également cette erreur, elle aurait une

certaine influence sur la mesure des distances zénithales simples et, comme les instruments sont disposés de façon à pouvoir la faire disparaître, nous allons donner la méthode qu'il faut employer pour y parvenir.

Soit KP l'axe de rotation de la lunette que nous supposerons horizontal (*fig.* 49). Visons un point S dans le voisinage de l'horizon et le plus éloigné possible. Ce

Fig. 49.



point vient former son image en O sur la croisée des fils du réticule. Faisons tourner la lunette de 180° sur elle-même. Si la lunette est centrale (nous ferons la figure dans ce cas pour plus de simplicité), il faut pour cela l'enlever de ses tourillons et la reposer en mettant sur le tourillon de droite le bout de l'axe de rotation qui était sur le tourillon de gauche et réciproquement.

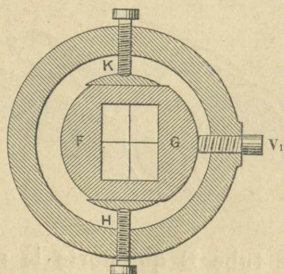
Si la lunette est excentrique on la fait tourner de 180° autour de son axe de rotation.

Il faut avoir soin de faire tourner la lunette exactement de 180°, ce qui se fait en lisant sur le cercle horizontal. L'axe optique est alors dirigé suivant A'O'. L'axe

de rotation est resté en KP. Amenons alors l'image du point S sur la croisée des fils en faisant tourner la lunette autour du grand axe; pour cela il faudra la faire tourner de l'angle OKO' que nous lirons sur le cercle horizontal. Si nous faisons maintenant tourner la lunette, mais en sens contraire du mouvement précédent, d'un angle $\frac{OKO'}{2}$ nous l'amènerons suivant A_1, O_1, l'axe de rotation suivant KP_1, et l'angle PKP_1 sera aussi $\frac{OKO'}{2}$. L'image du point S ne se fera plus sur la croisée des fils. Alors nous amènerons la croisée des fils sur cette image en déplaçant seulement le réticule : l'axe optique viendra ainsi en AO et sera par suite perpendiculaire à l'axe de rotation KP_1. On voit que cette méthode suppose que le point S est assez éloigné pour que les droites qui le joignent aux différentes positions de l'objectif puissent être considérées comme parallèles. Cette condition est surtout nécessaire dans le cas d'une lunette excentrique.

Le déplacement transversal des fils du réticule se fait

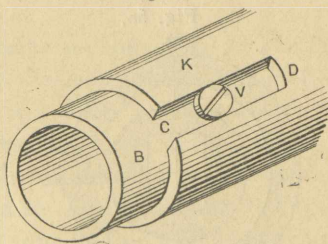
Fig. 50.



à l'aide de la vis V_1 (*fig.* 50) qui fait mouvoir la partie FG portant les fils, entre les mâchoires KH qui restent fixes.

107. Rectification du réticule. — Les visées des points ne se font pas toujours exactement à la croisée des fils du réticule. Pour les distances zénithales en particulier, il peut arriver que l'on vise le point sur le fil horizontal à une petite distance de cette croisée. Cela n'aura pas d'inconvénient si ce fil est horizontal, puisque alors tous les points de ce fil auront la même distance zénithale que la croisée des fils. Il faut donc rendre le fil horizontal rigoureusement horizontal ou, ce qui revient au même, les deux fils étant perpendiculaires par construction et les instruments ne portant pas de dispositionqui permette de modifier leurs positions relatives, le fil vertical exactement vertical. Pour y parvenir, le théodolite étant réglé, on amène un point sur le fil horizontal, et, après avoir fixé la lunette de façon qu'elle ne tourne pas autour de son axe de rotation, on s'assure, en la faisant tourner lentement autour du grand axe, que le point reste toujours sur ce fil. S'il en est autrement on

Fig. 51.



fait tourner le tube B qui porte le réticule dans le tube K de l'objectif (*fig.* 51). Pour cela on desserre légèrement la vis V qui, en glissant dans la rainure CD, maintenait le réticule, quelle que soit sa distance de

l'objectif, dans la même orientation. On peut alors faire tourner le tube B et par suite le réticule autour de l'axe de ce tube. Quand on l'a mis dans la position convenable on serre la vis V. Si l'on veut rectifier le réticule en rendant exactement vertical le fil vertical, on amène un point bien net sur le fil vertical et après avoir fixé la lunette, de façon qu'elle ne tourne pas autour du grand axe, on s'assure, en la faisant tourner lentement autour de son axe de rotation, que le point reste bien derrière le fil vertical. S'il n'en est pas ainsi on modifie l'orientation du réticule comme nous venons de le dire.

Quelques instruments présentent une disposition un peu différente pour permettre le réglage du réticule, mais le principe en est le même.

108. **Détermination de la valeur d'une division du niveau.** — Nous avons supposé que le niveau avait son axe longitudinal parallèle à la lunette. Cela étant, il faut amener la lunette dans la direction de l'une des vis du pied, après avoir rendu le grand axe aussi vertical que possible; on cherche dans cette direction un point bien net que l'on vise et l'on fait la lecture du cercle divisé et du niveau, puis on fait tourner légèrement la vis du pied; la bulle se déplace dans le niveau, on fait la nouvelle lecture de la bulle; la différence avec la première donne le nombre de divisions n dont elle s'est déplacée. La lunette n'est plus alors sur le point; on l'y ramène en la faisant tourner autour de son axe de rotation et l'on fait ensuite la lecture du cercle divisé : la différence de cette lecture et de la première donne l'angle dont ont tourné la lunette et le niveau par suite du mouvement donné à la vis du pied. Soit m. Le quo-

tient $\frac{m}{n}$ donne évidemment la valeur angulaire d'une division du niveau. On répète plusieurs fois cette opération et l'on adopte la moyenne des résultats.

109. Visée d'un astre. — Nous avons dit que pour viser un astre il fallait amener son image sur la croisée des fils du réticule. Cela ne peut se faire que lorsque le mouvement de l'astre est très lent. Si le mouvement est rapide, on amène l'image un peu au-dessous ou un peu au-dessus du fil horizontal le plus près possible du fil vertical, s'il s'agit d'une étoile, pour qu'elle ne soit pas masquée par ce fil et l'on note l'instant où elle passe derrière le fil.

Dans le cas du *Soleil*, on ne peut observer le centre de l'image qu'il est difficile d'apprécier, d'autant plus qu'on ne voit jamais dans la lunette le disque entier de l'astre; on observe alors, dans le cas où l'on mesure des distances zénithales simples, l'un des bords et l'on a la distance zénithale du centre en corrigeant cette distance de la grandeur du $\frac{1}{2}$ diamètre donnée par la *Connaissance des Temps* (Tables du Soleil) et dans le cas où l'on observe les doubles distances zénithales en déterminant, dans la première observation, la distance zénithale de l'un des bords et celle de l'autre dans la seconde. En en déduisant, d'après les règles données, la distance zénithale simple on a évidemment celle du centre du Soleil.

Pour reconnaître le bord que l'on observe, il faut se rappeler que la lunette renverse les images et que par suite le bord inférieur de l'astre paraît être le bord supérieur dans la lunette et réciproquement. Mais il existe un moyen simple d'éviter toute erreur à cet égard. Sup-

posons que nous observions le soir, et soient AB l'image du Soleil et V, H les fils du réticule (*fig.* 52). Le Soleil baissant dans la réalité paraît monter dans la lunette; le bord A qui est le bord inférieur, puisque l'image est renversée, va se rapprocher peu à peu du fil H et mordre

Fig. 52.

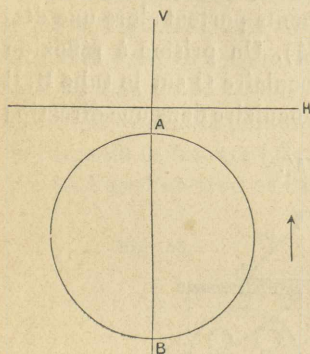
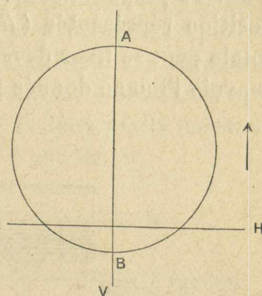


Fig. 53.

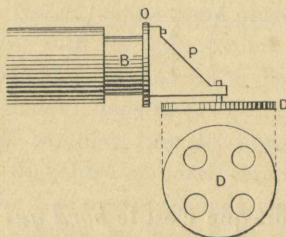


sur ce fil : on dit que c'est le *bord qui mord;* le bord supérieur B, le mouvement continuant, arrivera au-dessous de ce fil puis passera sur lui et le quittera : on dit que c'est le *bord qui démord* (*fig.* 53), et ce déplacement différent des deux bords par rapport aux fils permet de les distinguer. *Si donc, le soir, on a observé le bord qui mord, on saura que c'est le bord inférieur; si l'on a observé le bord qui démord, c'est le bord supérieur. On démontrerait de même que le matin le bord qui mord est le bord supérieur, le bord qui démord le bord inférieur.* Il suffira donc de noter si l'observation a lieu avant ou après le passage du Soleil au méridien, c'est-à-dire le matin ou le soir, et si l'on a observé le

bord qui mord ou le bord qui démord. Dans les observations de doubles distances zénithales on visera dans l'une des positions le bord qui mord et dans l'autre le bord qui démord.

On ne peut observer le Soleil à l'œil nu et de plus la lunette peut être amenée à prendre des positions telles qu'il soit difficile de placer l'œil directement à l'oculaire. La plupart des instruments portent alors une disposition représentée (*fig.* 54). Un prisme à réflexion totale peut se fixer devant l'oculaire O sur le tube B. Il renvoie l'image donnée par l'oculaire dans une direction

Fig. 54.



perpendiculaire au tube de la lunette et l'on regarde cette image en plaçant l'œil devant le disque D. Ce disque porte quatre petits verres colorés que l'on peut placer indifféremment, en le faisant tourner, devant l'image du Soleil.

Il ne faut pas chercher le Soleil en mettant l'œil à l'oculaire. On commence d'abord par mettre la lunette à peu près dans le vertical du Soleil en amenant l'ombre de cette lunette à être à peu près parallèle à celle du grand axe; puis, enlevant le verre coloré ou amenant le petit verre le plus clair sur l'oculaire, on fait mou-

voir la lunette autour de son axe de rotation jusqu'à ce que l'on voie une vive illumination de cet oculaire; l'image du Soleil est alors dans la lunette.

110. Pour les observations d'*étoiles*, il est plus difficile d'amener la lunette dans la direction de l'étoile, ce qu'il est pourtant nécessaire de faire avant de mettre l'œil à l'oculaire, afin de ne pas confondre l'étoile à observer avec ses voisines. Quelques instruments portent sur la lunette un viseur qui facilite cette opération. C'est une véritable pinnule de relèvement constituée par le corps de la lunette (*fig.* 55) et deux petits montants percés l'un d'un trou et l'autre d'une fente.

Fig. 55.

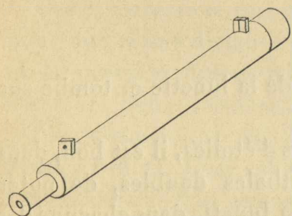
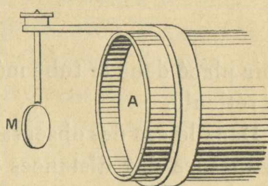


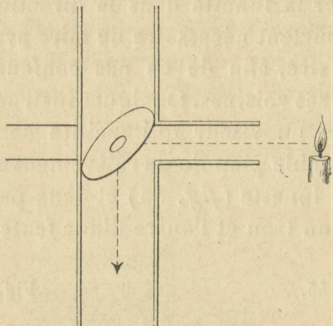
Fig. 56.



Pour les observations de nuit, il est nécessaire d'éclairer les fils du réticule qu'il serait sans cela impossible de distinguer sur le fond noir du ciel. Pour cela les théodolites portent l'une des dispositions suivantes : On peut placer devant l'objectif A (*fig.* 56) un petit miroir M porté par un collier qui se fixe sur le tube de la lunette et qui renvoie dans ce tube la lumière qui lui est donnée par une lampe que l'on place à côté de lui. Cette disposition est presque abandonnée aujourd'hui et remplacée

par la suivante : on creuse l'axe de rotation de la lunette (*fig.* 57) et, par le tube ainsi formé, on envoie la lumière d'une lampe qui se réfléchit sur un petit mi-

Fig. 57.



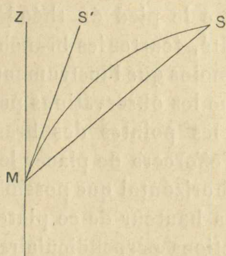
roir placé dans le tube même de la lunette et tombe sur le réticule.

Dans le cas des observations d'étoiles, il est bon, dans la mesure des distances zénithales doubles, de noter quelles sont les positions de la lunette dans chacune des opérations. On notera pour cela si la lunette est à droite ou à gauche de l'observateur. Si la lunette est centrale, on note les positions du cercle divisé. Cette précaution est également bonne à prendre dans les observations du Soleil.

111. Réfraction. — Lorsque l'on vise, du point M à la surface de la Terre, un astre S (*fig.* 58), la direction que l'on observe est en réalité la tangente en M à la trajectoire du rayon lumineux qui, émané de S, pénètre dans

la lunette. Cette trajectoire, à cause de l'atmosphère terrestre, est une courbe. Il faut donc corriger la dis-

Fig. 58.



tance zénithale observée ZMS' pour avoir la distance zénithale vraie ZMS.

Cette correction varie avec la distance zénithale et, pour une même distance zénithale, avec la température et la pression barométrique. On devra donc toujours noter ces deux dernières au moment des observations.

La Connaissance des Temps *donne cette correction Tables I et II.* Leur usage est indiqué à la page précédente. Mais il faut remarquer que ces corrections sont données dans la Table I en fonction de *la hauteur apparente qui est le complément à* 90° *de la distance zénithale observée.*

112. Pratique des observations de distances zénithales. Aide-mémoire. — Nous supposerons faites les rectifications et déterminations préliminaires qui ne se font qu'une fois pour toutes et dont nous avons expliqué le détail. Ce sont : le réglage du niveau (n° 99), le réglage du réticule (n° 107), la rectification de la collimation (n° 106), la détermination de la valeur angulaire

d'une division du niveau (n° 108), la détermination de la division du cercle vertical qui correspond à la direction du zénith (n° 92).

I. Mettre en place le pied du théodolite. Il faut, pour en assurer la stabilité, écarter les branches le plus possible, mais de façon néanmoins que l'instrument soit à une hauteur convenable pour que les observations puissent se faire sans fatigue. Enfoncer les pointes des branches dans le sol jusqu'à refus. On s'efforcera de placer le plateau que porte le théodolite aussi horizontal que possible; on s'en assurera en plaçant l'œil à la hauteur de ce plateau et en regardant si, dans deux directions perpendiculaires, il est parallèle à la ligne d'horizon.

II. Placer le théodolite sur son pied, en s'assurant que les pointes des vis entrent bien dans les rainures disposées pour les recevoir. Serrer à bloc la vis qui traverse le plateau et pénètre dans le grand axe du théodolite. S'assurer après cette opération que les pointes des vis ne sont pas sorties des rainures.

III. Mettre la lunette au point (n° 105).

IV. Rendre le grand axe vertical (n° 98).

OBSERVATION DES DISTANCES ZENITHALES SIMPLES DE SOLEIL.

V. Placer le zéro de la graduation du niveau dans la direction du Soleil. Amener l'image de l'un des bords du Soleil dans la lunette (n° 109).

VI. Noter l'heure de la montre à laquelle ce bord passe sur le fil horizontal. Pour cela, si l'on a un chronomètre, on amène le bord que l'on observe à une petite distance du fil horizontal et sur le fil vertical; en regardant le chronomètre, on remarque quelle est la seconde marquée par l'aiguille; quittant alors le chronomètre des yeux et regardant dans la lunette, on continue à compter mentalement les

battements comme nous l'avons indiqué pour les comparaisons (n° 88) et l'on apprécie à quel battement et fraction de battement, s'il est possible, le bord passe sur le fil. On écrit la seconde et la fraction de seconde correspondante, puis la minute et l'heure.

Dans le cas où l'on a une montre, il faut qu'un aide suive la montre des yeux pendant qu'on observe. Quelques instants avant le passage on crie : *attention,* et au moment du passage : *top*. A ce signal, l'aide note l'heure marquée par la montre. Si le Soleil a un mouvement assez lent, ce qui arrive pour les observations faites près du méridien, on amène le bord sur le fil horizontal et l'on note l'heure à laquelle cette condition est réalisée.

VII. Lire les deux verniers du cercle vertical.

VIII. On tiendra le cahier d'observations d'après le type suivant :

OBSERVATIONS DE DISTANCES ZÉNITHALES SIMPLES DE SOLEIL FAITES A SETTÉ-CAMA LE 13 JUILLET 1896 (SOIR).

BORD QUI	HEURE.	1er VERNIER.	2e VERNIER.	OBSERVATIONS.
mord.......	$10^h 23^m 12^s,5$	137° 22′ 15″	57° 21′ 30″	Température : 23°,7 Baromètre : $760^{mm},1$

(On notera si l'observation a lieu le matin, le soir ou vers le moment du passage au méridien.)

OBSERVATION DES DISTANCES ZÉNITHALES SIMPLES D'ÉTOILES.

IX. Le théodolite étant réglé, mettre le zéro à la graduation du niveau dans la direction de l'astre. Amener l'étoile à petite distance du fil horizontal. Noter comme nous l'avons dit pour le Soleil (VI) l'heure de son passage

sur ce fil. Si l'étoile a un mouvement assez lent, on l'amène sur la croisée des fils du réticule, et l'on note l'heure où cette condition est réalisée.

X. Faire la lecture des deux verniers du cercle vertical. De nuit, la lecture du vernier est assez difficile. « On se sert pour cela, soit de la lampe qui sert à éclairer le réticule (n° 110) dont on projette la lumière sur le vernier, en ayant soin de ne pas la recevoir directement dans l'œil, soit d'un petit morceau de charbon incandescent. On peut préparer de petits bâtonnets de bois que l'on trempe dans une solution de nitre et qu'on laisse bien sécher. Une allumette ordinaire, bien allumée, puis soufflée, reste assez longtemps en ignition pour qu'en la plaçant parallèlement au bord du limbe (cercle divisé), sous le verre dépoli qui abrite le vernier, on ait le temps de faire une bonne lecture.» (M. Caspari.)

XI. On tiendra le cahier d'observations d'après le type suivant :

OBSERVATIONS DE DISTANCES ZÉNITHALES SIMPLES DE α_2 CENTAURE FAITES AU CAP LOPEZ LE 2 MAI 1896 (DANS L'OUEST).

LUNETTE.	HEURE.	1er VERNIER.	2e VERNIER.	OBSERVATIONS.
A droite.....	$5^h 3^m 19^s,7$	$53° 10' 45'',0$	$233° 9' 10'',9$	Température : 19°,6 Baromètre : $762^{mm},1$

(On notera si l'observation a lieu dans l'Est, dans l'Ouest ou au moment du passage au méridien.)

OBSERVATIONS DES DISTANCES ZÉNITHALES DOUBLES DE SOLEIL OU D'ÉTOILES.

XII. Le théodolite étant réglé, mettre le zéro de la graduation du niveau dans la direction de l'astre. Amener le

bord que l'on observe s'il s'agit du Soleil, ou l'étoile, dans la lunette.

XIII. Noter, en opérant comme nous l'avons dit (VI), l'heure du passage de ce bord ou de l'étoile sur le fil horizontal.

XIV. Faire la lecture des deux verniers du cercle vertical et celle du niveau. Il est bon de distinguer les verniers par une petite marque que l'on fera à l'un d'eux, pour être sûr de lire toujours le même le premier.

XV. Faire tourner la lunette de 180° autour du grand axe et amener dans la lunette l'autre bord du Soleil ou l'étoile.

XVI. Noter l'heure du passage de ce bord ou de l'étoile sur le fil horizontal.

XVII. Faire la lecture des deux verniers du cercle vertical et celle du niveau.

XVIII. On tiendra le cahier d'observations d'après le type suivant :

OBSERVATIONS DE DOUBLES DISTANCES [ZÉNITHALES DE SOLEIL FAITES A VAN-PHONG LE 3 MARS 1895 (CIRCOMMÉRIDIENNES).

BORD QUI (1)	HEURES.	1er VERNIER.	2e VERNIER.	NIVEAU.		OBSERVATIONS.
mord...	$11^h 36^m 54^s,8$	219° 16′ 5″,0	39° 16′ 40″,0	12,9	22,0	Température : 30°,0
démord.	$39^m 20^s,8$	201° 42′ 35″,0	21° 42′ 20″,0	12,7	21,8	Baromètre : $757^{mm},5$

(1) S'il s'agit d'une étoile, on écrit ici le côté où se trouve la lunette par rapport au grand axe.

[On notera s'il s'agit du Soleil, si l'observation a lieu le matin, le soir ou près du méridien (circomméridiennes); et dans le cas d'une étoile, si elle a lieu dans l'Est, dans l'Ouest ou près du méridien (circomméridiennes.)]

§ III. — OBSERVATIONS A FAIRE POUR DÉTERMINER LA POSITION GÉOGRAPHIQUE D'UN POINT A LA SURFACE DE LA TERRE.

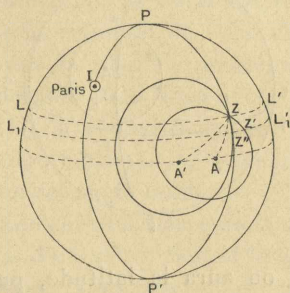
113. Nous avons vu (nº 75) que les observations des distances zénithales de deux astres, faites à des heures temps moyen de Paris connues, suffisent pour déterminer la position géographique du lieu. Dans la pratique, on connaît toujours approximativement la latitude et la longitude du lieu, déduites du chemin parcouru depuis le dernier point dont on a déterminé la position géographique [1]. Les méthodes que nous allons exposer, et qui sont le plus généralement employées, consistent à se servir de cette connaissance approchée pour simplifier les observations.

1° Si nous supposons la latitude connue, cela voudra dire (*fig.* 59) que nous savons que le zénith Z se trouve quelque part sur le petit cercle LL′ décrit, du pôle P comme centre, avec PZ, complément de cette latitude, pour rayon. Si nous observons la distance zénithale ZA d'un astre A, la position du zénith Z sera à l'intersection du petit cercle décrit de A comme centre avec ZA pour rayon, et du petit cercle LL′. Cette position de Z déterminera celle du méridien PZP′ et, par suite, la longitude cherchée.

[1] La rédaction provisoire de l'itinéraire étant faite (nº 41), on mesurera le chemin fait dans la direction Nord-Sud entre le point de départ (de position géographique connue) et le point d'arrivée (où l'on se trouve). En divisant cette distance, exprimée en mètres, par 1850, on aura approximativement le nombre de minutes dont diffèrent les latitudes des deux points. On mesurera de même le chemin fait dans la direction Est-Ouest, et, en le divisant par 1850 et divisant le résultat par le cosinus de la latitude moyenne entre celles du point de départ et du point d'arrivée, on aura le nombre de minutes dont diffèrent les longitudes des deux points.

Mais nous ne connaissons qu'approximativement la latitude ; il en résulte que la position du petit cercle LL′ n'est pas exactement connue et, par suite, celle du point Z sur le petit cercle ZA. S'il est en Z′, par exemple,

Fig. 59.

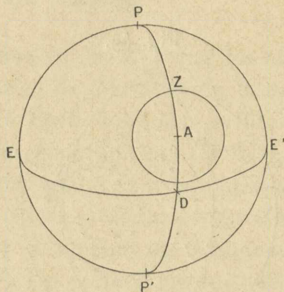


au lieu d'être en Z, la position du méridien PZP′ deviendra PZ′P′ et la longitude déduite des observations ne sera pas la même. Mais si nous avons fait l'observation au moment où l'astre était en A′, tel que le petit cercle ZA′ soit tangent au méridien PZP′ le petit cercle $L_1L'_1$ coupera le petit cercle ZA′ en un point Z″, qui sera très sensiblement sur le méridien PZP′, et l'on obtiendra encore ce méridien, c'est-à-dire la même longitude. Or ce cas se produira si l'on observe, au moment où l'angle PZA du méridien et du vertical de l'astre, c'est-à-dire l'azimut de cet astre, est égal à 90°. Ce sont là les conditions les plus favorables pour faire l'observation.

Ainsi, dans ces conditions, une seule observation de distance zénithale suffit, pour déterminer la longitude exacte avec une latitude approchée.

2° Si nous observons (*fig.* 60) la distance zénithale ZA d'un astre A, à l'instant de son passage dans le mé-

Fig. 60.



ridien du lieu, on aura la latitude, puisque

$$PZ = PA - ZA,$$

ou $90° - l = 90° - d - z$, d'où $l = d + z$. Il existe, comme nous le verrons, une manière de s'assurer que l'on observe bien l'astre à son passage dans le méridien. Une connaissance approchée de la longitude suffit pour trouver la déclinaison de l'astre dans la *Connaissance des Temps*.

Par suite, dans ces conditions, une seule observation de distance zénithale suffit pour déterminer la latitude exacte avec une longitude approchée.

I. — Détermination de la longitude.

114. Théorie. — La longitude est la différence des heures temps moyen de Paris et du lieu (nº 73).

C'est aussi la différence de l'état absolu de la montre que nous supposons connu et de l'état de cette montre sur le temps moyen du lieu. Le problème revient donc à chercher ce dernier état. Nous avons expliqué qu'il peut se déduire de la connaissance de l'angle horaire d'un astre à une heure connue de la montre (nº 83).

Cherchons donc cet angle horaire.

Observons, à une certaine heure de la montre, la distance zénithale z d'un astre. Soit d la déclinaison de cet astre à cet instant. Nous trouverons cette déclinaison dans la *Connaissance des Temps,* à l'heure temps moyen de Paris de l'observation, heure que nous connaissons, puisqu'elle se déduit de l'heure de la montre au moyen de l'état absolu que nous connaissons également. Soit l la latitude approchée du lieu. L'angle horaire P de l'astre sera donné par la formule

$$\operatorname{tang}\frac{P}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-\delta)\sin(s-\lambda)}{\sin s \sin(s-z)}},$$

en posant

$$\delta = 90 - d,$$
$$\lambda = 90 - l,$$
$$2s = \lambda + \delta + z.$$

Dans ces formules l est toujours positif; d est positif s'il est de même nom (boréal ou austral) que l, négatif dans le cas contraire; z est toujours positif. Cette for-

mule donne l'angle du méridien de l'astre avec le méridien du lieu. Il faudra faire attention que, lorsque l'astre est dans l'est du méridien, on obtient ainsi une valeur qui est le complément à vingt-quatre heures de la valeur de l'angle horaire, compté comme nous l'avons supposé de 0 heure à 24 heures de l'Est vers l'Ouest, à partir du méridien du lieu.

115. Moments auxquels il faut faire les observations. — Le calcul de P sera fait en employant une valeur approchée de la latitude. Le résultat sera d'autant meilleur que les observations auront été faites dans des conditions telles qu'une erreur sur la latitude ait moins d'influence sur ce résultat. Nous avons vu qu'il faut pour cela observer l'astre au moment où son azimut est voisin de 90°. Par suite, dans les latitudes moyennes, il faut observer le *Soleil*, trois heures environ avant ou après midi. A l'équateur, le Soleil n'ayant jamais un azimut de 90°, il faut l'observer le matin, le plus tôt possible, ou le soir, le plus tard possible, mais seulement lorsque sa distance zénithale sera plus petite que 80°, afin d'éviter les erreurs des Tables de réfraction qui deviennent trop grandes pour de plus grandes distances zénithales. On observera les *étoiles* au moment où leur azimut est voisin de 90° et quand leur distance zénithale est aussi plus petite que 80°.

116. Pratique des observations. — On devra avoir soin, avant les observations, de comparer toutes les montres avec celle qui doit servir pendant celles-ci; on fera de même après les observations. Ces comparaisons seront écrites sur le cahier de comparaisons.

Observations du Soleil. — On se conformera, pour les observations de doubles distances zénithales de Soleil, aux règles données dans l'Aide-mémoire. On aura soin de noter sur le cahier si l'on opère le matin ou le soir. On observera toujours au moins deux séries de quatre ou six doubles distances. Il faut tâcher que les observations d'une distance zénithale double ne prennent pas plus de cinq minutes et espacer les séries aussi régulièrement que possible.

Observations d'étoiles. — Les étoiles étant assez difficiles à retrouver dans la lunette et les lectures étant pénibles la nuit, on pourra à la rigueur se contenter d'observer des distances zénithales simples, suivant la méthode donnée dans l'Aide-Mémoire.

Les observations d'étoiles nécessitent une certaine connaissance du Ciel. Leurs positions relatives s'apprennent pourtant très rapidement, surtout quand on reste dans la même région, auquel cas le Ciel a le même aspect toutes les nuits. La lunette du théodolite ne permettant d'ailleurs d'observer que les étoiles de grandeur supérieure à la troisième, le nombre des astres dont on a à s'occuper est relativement restreint. D'ailleurs, même dans le cas où, au moment de l'observation, on ne connaîtrait pas l'étoile que l'on a observée, il est facile de la retrouver ensuite, au moyen des données de la *Connaissance des Temps,* mais à la condition que l'on ait pris approximativement son azimut au moment de l'observation. On l'obtiendra suffisamment en prenant à la boussole le relèvement de cet astre et l'on corrigera ce relèvement de la déclinaison magnétique pour avoir l'azimut vrai.

117. Calcul des observations. — On calculera la *latitude approchée* en déduisant la position du lieu de celle du dernier point, dont on a déterminé la position géographique et du chemin parcouru depuis ce point (*voir* la note page 142).

On calculera *l'état absolu de la montre,* comme nous l'avons indiqué (n° 81), au moyen du dernier état absolu connu et de la marche adoptée pendant l'intervalle qui sépare l'instant où l'on a déterminé cet état de celui de l'observation (n° 89).

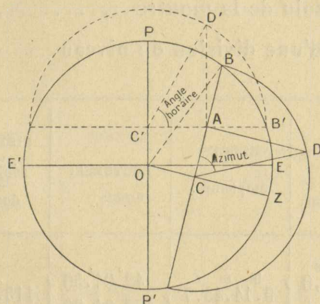
Nous avons dit que, si l'on ne connaissait pas le nom de l'étoile observée, on pourrait ensuite la reconnaître, si l'on a eu soin d'observer l'azimut. Le problème à résoudre est donc celui-ci : *Connaissant la distance zénithale et l'azimut d'un astre, en déduire sa déclinaison et son angle horaire.*

Connaissant l'état absolu de la montre, nous pouvons avoir l'heure moyenne de Paris de l'observation et par suite l'heure sidérale de Paris, d'où l'heure sidérale du lieu. En en retranchant l'angle horaire, si nous pouvons le déterminer, nous aurons l'ascension droite de l'astre. (Si l'on ne connaissait pas l'état absolu, il suffirait de connaître l'état sur le temps moyen du lieu et la longitude approchée : on en déduirait une valeur approchée de l'état absolu qui suffirait.)

Le problème se résout très simplement au moyen d'une construction graphique que l'on fera à une échelle suffisante pour pouvoir lire les angles au degré. Décrire une circonférence de centre O, marquer la ligne des pôles PP′ et l'équateur EE′ (*fig.* 61). Placer le zénith Z en portant un angle EOZ égal à la latitude du lieu, au-dessus de OE si elle est Nord, au-dessous si elle est

Sud. Porter à partir de OZ un angle ZOB égal à la distance zénithale observée. Abaisser BC perpendiculaire sur OZ et décrire du point C une demi-circonférence de

Fig. 61.



rayon BC. Faire au point C un angle BCD égal à l'azimut observé. Abaisser DA perpendiculaire sur BC. Par le point A mener AC′ perpendiculaire à la ligne des pôles : cette droite coupe la circonférence O en B′, B′E est la déclinaison de l'astre. Décrire de C′ comme centre avec C′B′ pour rayon une demi-circonférence. Mener AD′ perpendiculaire sur B′C′, l'angle B′C′D′ est l'angle horaire de l'astre.

On calculera les observations d'après les types suivants :

OBSERVATION DE μ CENTAURE FAITE LE 2 AOUT 1896 DANS L'OUEST.

Latitude : L = 4° 10′ Sud. Longitude : M = 20° 30′ Est = $1^h 22^m$ Est.

État absolu de la montre .... $9^h 36^m 54^s,89$

Valeur d'une division du niveau .... 10″,4

Température .... 20°,2

Baromètre .... $761^{mm},0$

LUNETTE.	HEURES des observations.	HEURES moyennes.	LECTURES.	DISTANCES zénithales doubles.	NIVEAU (1). LECTURES.		NIVEAU (1). MOY.	NIVEAU (1). DIFF.	NIVEAU (1). CORRECT.	DISTANCES zénithales doubles corrigées.	DISTANCES zénithales simples.	RÉFRACTION (2).	DISTANCES zénithales simples corrigées.
	h m s	h m s											
D...	9.14.13,0	9.14.43.7	42°.04′.50″	115°.59′.30″	3,1	12,9	8,0	−1,5	−15″,6	115°.59′.14″,4	57°.59′.37″,2	+1′.16″,8	58°.00′.54″,0
G...	9.15.14,5		158.04.20		4,3	14,7	8,5						

Notes. — Si l'on a observé des distances zénithales simples, on obtient de suite leur valeur en retranchant de leur lecture celle du zénith.
Lorsque l'on a une série de distances zénithales doubles, on écrit les observations et on les calcule suivant le même type que celui que nous employons ci-contre.

(1) On corrige ici la double distance zénithale en y ajoutant E−E′, ce qui revient à ajouter $\frac{E-E'}{2}$ à la distance zénithale simple; on obtient la correction en secondes en multipliant E−E′ par la valeur d'une division du niveau.

(2) Dans le cas d'une planète, on corrige de la parallaxe et du demi-diamètre. On se sert pour cela de la Table IV de la *Connaissance des Temps*.

OBSERVATION DE μ CENTAURE FAITE LE 2 AOUT 1896 DANS L'OUEST [suite].

μ Centaure le 2 août 1896 :

Calcul de l'angle horaire.

Z	58.00.54,0	
$\lambda = 90 - l$	85.50.00,0	
$\delta = 90 - d$	48.02.15,6	
$2s$	191.53.09,6	
s	95.56.34,8	
$s - Z$	37.55.40,8	
$s - \lambda$	10.06.34,8	
$s - \delta$	47.54.19,2 [1]	
Log sin s	$\bar{1}$,9976597	0,0023403
Log sin$(s - Z)$	$\bar{1}$,7886425	0,2113575
Log sin$(s - \lambda)$		$\bar{1}$,2443583
Log sin$(s - \delta)$		$\bar{1}$,8704263
Log tang² $\frac{P}{2}$		$\bar{1}$,3284824
Log tang $\frac{P}{2}$		$\bar{1}$,6642412
$\frac{P}{2}$		24.46.36,6
P		49.33.13,2
		3.16
		2.12
		0,88
P en temps		3.18.12,88 [2]

[1] Comme vérification, la somme des trois derniers nombres doit donner s.

[2] Lorsque l'astre est dans l'Est, il faut, dans la suite du calcul, remplacer P par sa différence de vingt-quatre heures.

Déclinaison sud	41°57′44″,4
Ascension droite	$13^h 43^m 23^s$,0

Calcul de l'état de la montre sur le temps moyen du lieu (*voir* n° 85).

P en temps	3.18.12,88
Ascension droite μ Centaure	13.43.23,00
Heure sidérale du lieu	17.01.35,88
Temps sidéral à midi moyen, Paris le 2 août	8.46.17,02
Variation pour longitude $1^h 22^m$ Est	13,47 [1]
Temps sidéral à midi moyen du lieu	8.46.03,55
Heure sidérale du lieu	17.01.35,88
Intervalle sidéral	8.15.32,33
Correction pour transform. en temps moyen [2]	1.21,18
Heure temps moyen du lieu	8.14.11,15
Heure de la montre	9.14.43,70
État de la montre sur le temps moyen du lieu	10.59.27,45

Calcul de la longitude du lieu.

État de la montre sur le temps moyen du lieu	10.59.27,45
État absolu de la montre	9.36.54,89
Longitude Est	1.22.32.56

[1] Cette correction s'obtient en cherchant le chiffre de la Table VI de la *Connaissance des Temps*, qui correspond à la longitude. Si cet longitude est Est, cette correction est négative; elle est positive, si la longitude est Ouest.

[2] Cette correction s'obtient au moyen de la Table V de la *Connaissance des Temps*, toujours négative.

OBSERVATION DU SOLEIL FAITE A SETTÉ-CAMA LE 13 JUIN 1896 (SOIR).

Latitude : L = 2°32′ Sud. Longitude : M = 7°22′ = 0h29m Est.

État absolu de la montre...........	5h17m53s,22	Température........................	23°,4
Valeur d'une division du niveau ...	10″,4	Baromètre..............................	760mm

LUNETTE et bord.	HEURES des observations.	HEURES moyennes.	LECTURES.	DISTANCES zénithales doubles.	NIVEAU (1). LECTURES.		NIVEAU (1). MOY.	DIFF.	CORR.	DISTANCES zénithales doubles corrigées.	DISTANCES zénithales simples.	RÉFRACTION — PARALLAXE	DISTANCES zénithales simples corrigées.
D m.....	h m s 10.22.44,5	h m s 10.23.14,8	° 33.47.22″	° 132.6′.22″	2,2	12,1	7,2	−1,9	−19″,7	° 132.6′.2″,3	° 66.3′.1″,2	+ 2′.3″,8	° 66.5′.5″,0
G d.....	10.23.45,2		165.53.44		4,0	14,2	9,1						

Notes.— Si l'on a observé des distances zénithales simples, on obtient de suite leur valeur en retranchant de leur lecture celle du zénith. Lorsque l'on a une série de distances zénithales doubles, on écrit les observations et on les calcule suivant le type que nous employons ci-contre.

(1) On corrige ici la double distance zénithale en y ajoutant E — E′, ce qui revient à ajouter $\frac{E-E'}{2}$ à la distance zénithale simple, on obtient la correction en secondes en multipliant E — E′ par la valeur d'une division du niveau.

Calcul de la déclinaison.

Heure moyenne des observations à la montre (1)......	h 10.20
État absolu approché de la montre....................	5.20
Heure temps moyen de Paris approché (2).........	3.40 soir

Déclinaison le 13 juin à midi moyen Paris .	+ 23°.15′.50″,7
Variation pour 3h40m = 3,7 × 7,67........	+ 28,4
Déclinaison.....	D = + 23.16.19,1

(1) Lorsque l'on a plusieurs distances zénithales, il suffit généralement de calculer la déclinaison pour l'heure moyenne de toutes les observations.

(2) Pour éviter une erreur de douze heures sur celle de Paris, il suffit de voir, en tenant compte de la longitude, si, au moment de l'observation, le Soleil a déjà passé ou non au méridien de Paris.

OBSERVATION DU SOLEIL FAITE A SETTÉ-CAMA LE 13 JUIN 1896 (SOIR) [suite].

Calcul de l'angle horaire.

Z	66°.05'.05",0	
$\lambda = 90 - l$	87.28.00,0	
$\delta = 90 + d$	113.16.19,1	
$2s$	266.49.24,1	
s	133.24.42,0	
$s - Z$	67.19.37,0	
$s - \lambda$	45.56.42,0	
$s - \delta$	20.08.22,9 [1]	
Log sin s	$\bar{1}$,8612046	0,1387954
Log sin $(s - Z)$	$\bar{1}$,9650696	0,0349304
Log sin $(s - \lambda)$		$\bar{1}$,8565310
Log sin $(s - \delta)$		$\bar{1}$,5369505
$\text{Log}^2 \text{tang} \frac{P}{2}$		$\bar{1}$,5672073
$\text{Log tang} \frac{P}{2}$		$\bar{1}$,7836036
$\frac{P}{2}$		31.16.55,3
P		62.33.50,6
		4.08
		2.12
		3,37
P en temps		4.10.15,37

[1] Comme vérification, la somme des trois derniers nombres doit donner s.

Calcul de l'état de la montre sur le temps moyen du lieu (*voir* n° 84).

P	4°.10'.15",37
Longitude Est	0.29
Heure temps vrai Paris	3.41
Temps moyen à midi vrai à Paris le 13 juin	11.59.54,23
Variation pour $3^h 40^m = 3,7 \times 0^s,527$	1,95
	11.59.56,18
P	4.10.15,37
Heure temps moyen du lieu	4.10.11,55
Heure de la montre	10.23.14,80
État de la montre sur le temps moyen du lieu	5.46.56,75

Calcul de la longitude du lieu.

État de la montre sur le temps moyen du lieu	5.46.56,75
État absolu de la montre	5.17.53,22
Longitude Est	0.29.03,53

Remarques. — 1° On voit que, *si l'on ne veut calculer que l'état de la montre sur le temps moyen du lieu*, il suffit de connaître approximativement la longitude : la connaissance de l'état absolu de cette montre n'est pas nécessaire. En effet, dans le cas des étoiles, nous ne nous sommes pas servis de cet état absolu dans le calcul. Dans le cas du Soleil, il ne nous sert qu'à avoir, pour calculer la déclinaison, une valeur approchée du temps moyen de Paris. Si on ne le connaît pas, on fait un premier calcul approché de l'angle horaire en prenant, comme déclinaison du Soleil, la déclinaison à midi moyen à Paris, le jour de l'observation. Avec cet angle horaire, on calcule un état approché sur le temps moyen du lieu. Avec cet état et la longitude approchée, on calcule un état absolu approché, dont on se sert pour calculer exactement la déclinaison avec laquelle on recommence définitivement le calcul.

2° *Il faut avoir soin de comparer toutes les montres, avant et après les observations, avec celle qui doit servir à faire ces observations.* Lorsque l'on aura calculé l'état de cette dernière sur le temps moyen du lieu, on déduira de ces comparaisons l'état des autres montres. On calculera l'état absolu de chacune d'elles. La différence entre l'état absolu et l'état sur le temps moyen du lieu donnera pour chaque montre une valeur de la longitude. Nous avons expliqué plus haut comment on traitait ces résultats pour en déduire la valeur de la longitude à adopter.

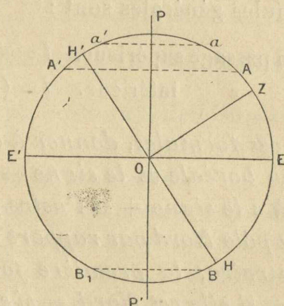
II. — Détermination de la latitude. — 1° Culminations.

118. Théorie. — Par suite du mouvement de rotation de la sphère céleste, un astre A décrit un petit cercle AA′ que l'on appelle le *parallèle* de cet astre et il est évident que sa distance zénithale est la plus petite, au moment où il passe dans le méridien du lieu. On dit qu'il est alors au moment de sa *culmination*.

Si l'on observe la distance zénithale $z = AZ$ de l'astre (*fig.* 62) au moment où il passe dans le méridien PZ du lieu, on a la latitude par la formule

$$l = d - z.$$

Fig. 62.



On appelle *méridien supérieur* du lieu la partie du méridien de ce lieu comprise entre le pôle élevé (c'est-à-dire le pôle Nord si le lieu est dans l'hémisphère Nord, le pôle Sud si le lieu est dans l'hémisphère Sud) et l'autre pôle et qui contient le zénith du lieu : ici c'est l'arc PZEP′; et *méridien inférieur* la partie du méri-

dien comprise entre le pôle élevé et l'autre pôle : ici c'est PE′P′. Les astres peuvent se diviser en trois catégories : 1° ceux tels que B, qui passent au méridien audessous de l'horizon HH′ du lieu et sont par suite toujours invisibles; 2° ceux tels que A, qui sont visibles à leur passage au méridien supérieur ou, comme l'on dit, à leur *passage supérieur* en A; 3° ceux enfin tels que a, qui sont visibles à leur passage supérieur en a et à leur passage au méridien inférieur ou *passage inférieur* en a'.

Ces derniers peuvent donc être observés également à leur passage inférieur, mais, dans ce cas, la latitude est donnée par la formule

$$l = (180 - d) - z.$$

Ainsi les formules générales sont :

$$(1) \quad \begin{cases} \text{Astre à son passage supérieur.} & l = d - z \\ \quad \text{»} \qquad \text{»} \qquad \text{inférieur.} & l = (180 - d) - z. \end{cases}$$

Il faut, dans ces formules, donner à d le signe + si elle est Nord ou boréale et le signe — si elle est Sud ou australe et à z le signe + si l'astre passe au méridien du côté du pôle Nord par rapport au zénith et — dans le cas contraire; la première formule donne l avec son signe + si elle est Nord, — si elle est Sud. La seconde formule donne l, si elle est Nord et son complément à 360° *si elle est Sud.*

119. Pratique des observations. — On ne peut observer que des distances zénithales simples. Il faut donc supposer connue la division du cercle qui correspond au zénith. On la détermine par la méthode donnée (n° 92).

120. *Soleil.* — On calcule approximativement le moment où il faut se mettre en observation, ce qui est facile puisque cette observation doit être faite à midi vrai du lieu. Si l'on connaît la longitude approchée et l'état absolu de la montre, ou encore l'état de cette montre sur le temps moyen du lieu, on en déduit l'heure qu'elle marquera à midi moyen du lieu. Il faut corriger cette heure de l'angle que fait le Soleil vrai avec le Soleil moyen puisque c'est celui-là que l'on observe.

Temps moyen à midi vrai à Paris le 13 juin [*Connaissance des Temps* (1)].		11^{h}.59^{m}
État absolu de la montre.	10^{h}22	
Longitude Est (2).	1.25	
État de la montre sur le temps moyen du lieu.	11.47	11.47
Heure de la montre à l'instant du passage. .		0.12

On observe un bord du Soleil, supérieur ou inférieur. On suit ce bord dans la lunette en le maintenant constamment sur le fil horizontal.

Pour cela, les vis de pression des deux cercles étant serrées, on fait simplement mouvoir la lunette en agissant sur les vis de rappel. Au moment où l'astre va culminer son mouvement en distance zénithale diminue de plus en plus et le bord ne quitte plus le fil. C'est le moment critique de l'observation, pendant lequel il faut surtout ne pas oublier que la lunette renverse les objets et que, quand l'astre descend dans la lunette, il monte dans la réalité. Dans cet intervalle de temps de la cul-

(1) On prend cette valeur comme étant celle du temps moyen à midi vrai du lieu.

(2) Si la longitude était Ouest on la retrancherait de l'état absolu de la montre.

mination qui est plus ou moins long suivant que la distance zénithale est plus grande ou plus petite, les mouvements donnés à la vis de rappel du cercle vertical doivent l'être avec la plus grande délicatesse possible de manière à bien saisir quand le bord passe de l'autre côté du fil.

On aura soin de noter quel est le bord observé.

121. Étoiles. — Avant de se mettre en observation, il est bon d'avoir fait une liste des étoiles observables qui doivent passer au méridien pendant la nuit, ainsi que des heures de la montre auxquelles elles passent et de la distance zénithale qu'elles ont à cet instant. Cela facilite beaucoup les observations en évitant de confondre les étoiles et en permettant de ne se mettre en observation qu'au moment utile. Si à cet instant, en effet, on met la lunette à la distance zénithale ainsi déterminée, il suffira de la promener dans les environs du méridien pour y voir apparaître l'étoile.

Nous supposons que nous connaissons la latitude approchée et l'état approché de la montre sur le temps moyen du lieu (ou ce qui revient au même la longitude approchée et l'état absolu).

Pour qu'une étoile soit observable, il faut qu'elle passe soit au méridien supérieur, soit au méridien inférieur, pendant la nuit et au-dessus de l'horizon du lieu. L'ascension droite d'une étoile étant l'heure sidérale du lieu, de son passage au méridien, il faut, pour que la première condition soit remplie, que les ascensions droites de ces étoiles soient comprises entre les heures sidérales du coucher et du lever du Soleil. On sait toujours à peu près ces heures et l'on aura les

heures sidérales correspondantes en y ajoutant le temps sidéral à midi moyen à Paris le jour de l'observation, que l'on trouve dans la *Connaissance des Temps*. Les ascensions droites des étoiles qui pourront être observées à leur passage supérieur seront comprises entre ces limites. Il est évident que celles dont l'ascension droite augmentée de douze heures sera également comprise entre ces limites pourront être observées à leur passage inférieur. On aura donc les limites de leurs ascensions droites en retranchant douze heures aux heures précédentes.

Exemple : Le 8 mai 1896, au lieu où l'on se trouve, le Soleil se lève à 5^h du matin et se couche à 7^h du soir. Les heures temps moyen du lever et du coucher sont donc 7^h et $12^h + 5^h = 17^h$. Le temps sidéral à midi moyen à Paris est $3^h,07$, mettons 3^h. L'heure sidérale du coucher est $7^h + 3^h = 10^h$, celle du lever est $17^h + 3^h = 20^h$. Donc les ascensions droites des étoiles observables à leur passage supérieur seront plus grandes que 10^h et plus petites que 20^h. Celles des étoiles observables à leur passage inférieur seront plus grandes que $10^h - 12^h$ ou $34^h - 12^h$ ou 22^h et plus petites que $20^h - 12^h$ ou 8^h (c'est-à-dire qu'elles seront comprises, soit entre 22^h et 24^h, soit entre 0^h et 8^h).

Mais il faut aussi que ces étoiles passent au méridien au-dessus de l'horizon. La *fig.* 62 montre que : 1° toutes les étoiles dont la déclinaison est de même nom que la latitude du lieu peuvent être visibles à leur passage supérieur; 2° que, pour qu'elles soient visibles à leur passage inférieur, il faut que leur déclinaison soit plus grande que $90° - l$; 3° que les étoiles dont la déclinaison est de nom contraire à la latitude ne peuvent être vi-

sibles qu'à leur passage supérieur et si leur déclinaison est plus petite que $90^\circ - l$.

A l'aide de la *Connaissance des Temps*, dans laquelle les étoiles sont rangées par ordre d'ascension droite croissante, on pourra donc trouver les étoiles dont les ascensions droites sont comprises dans les limites ainsi déterminées et l'on verra si leur déclinaison répond aux conditions précédentes. Dans ce cas, si leur grandeur est plus grande que la troisième, elles pourront être observées.

Étant donnée l'une de ces étoiles, on aura avec suffisamment d'exactitude l'heure temps moyen de son passage supérieur en retranchant de son ascension droite le temps sidéral à midi moyen à Paris le jour de l'observation; l'heure temps moyen d'un passage inférieur s'obtient en retranchant de l'ascension droite augmentée de douze heures le temps sidéral à midi moyen de Paris. En ajoutant l'état de la montre sur le temps moyen du lieu, à ces heures ainsi obtenues, on aura les heures de cette montre aux instants des passages.

La distance zénithale à l'instant du passage supérieur s'obtient par la formule

$$z = d - l,$$

l et d ayant le signe + si elles sont Nord, — si elles sont Sud. Si z est positif, c'est que l'étoile passe au Nord; s'il est négatif, c'est qu'elle passe au Sud.

La distance zénithale à l'instant du passage inférieur s'obtient par la formule

$$z = 180 - d - l,$$

d et l étant prises avec les signes que nous venons d'in-

diquer. L'étoile passe toujours du côté du pôle élevé. Si l'on obtient pour z un nombre compris entre 270° et 360°, la distance zénithale cherchée est le complément à 360° de z.

122. Remarque. — Ces calculs préliminaires n'ont besoin d'être faits que pour la première nuit, si l'on fait des observations plusieurs nuits de suite au même lieu.

Les étoiles passent, en effet, toujours à la même distance zénithale, et les heures de leur passage une nuit quelconque sont celles de leur passage la nuit précédente diminuées de quatre minutes environ.

Il sera bon, pour savoir dans quel azimut doit être à peu près dirigée la lunette, de se servir de la boussole qui, corrigée de la déclinaison magnétique, donnera avec suffisamment de précision la direction du méridien.

On se conformera, quant aux précautions à prendre pour faire une bonne observation, aux renseignements que nous avons donnés plus haut en ce qui concerne le Soleil. On suivra l'étoile au lieu de suivre le bord de l'astre.

123. Calcul des observations. — *Soleil.* On calcule la déclinaison du Soleil à midi vrai du lieu, qui est la déclinaison à une heure vraie de Paris égale à la longitude, si elle est Ouest et à son complément à vingt-quatre heures, si elle est Est. On corrige la distance zénithale du bord observé du demi-diamètre pour avoir la distance zénithale du centre, puis de la réfraction et de la parallaxe. On calcule z par la formule $l = d - z$.

Étoile. — On calculera l par l'une des formules (1) suivant que l'on aura observé une étoile à son passage supérieur ou à son passage inférieur, après avoir corrigé la distance zénithale observée de la réfraction.

OBSERVATION DE DISTANCE ZÉNITHALE DE SOLEIL (BORD INFÉRIEUR) (MÉRIDIENNE)

Faite le 8 mai 1896, à Hellville (Nosi-Bé).

Latitude approchée............ 13°24 Sud

Longitude approchée............ $3^h 04$ Est

Calcul de la déclinaison du Soleil.

Déclinaison du Soleil le 8 mai 1896 à midi vrai, à Paris..........	+17°17'59",3	Température...... ..	24°,7
Variation pour longitude Est $3^h 04 = 3,1 \times 40'' 17$ (1)...........	— 2.04,5	Baromètre...........	760^{mm}
Déclinaison.....................	+17.15.54,8	Lecture du zénith....	88°10'30",0

LECTURE.	LECTURE du zénith.	DISTANCE zénithale observée.	RÉFRACTION (2).	PARALLAXE (3).	CORRECTION totale.	DISTANCE zénithale corrigée.	DEMI-DIAMÈTRE (4).	DISTANCE zénithale du centre.	DÉCLINAISON du Soleil.	LATITUDE du lieu.
119°06'15"	88°10'30",0	30°55'45",0	+32",0	−4",4	+27",6	30°56'12",6	15'52",3	+30°40'20",3	+17°15'54",8	−13°24'25",2

(1) L'heure vraie de Paris au moment du passage est $24^h - 3^h 04 = 20^h 56$ le 7 mai. On peut, au lieu de calculer avec la déclinaison du 7 mai à Paris et la correction qui résulterait de cette différence d'heures, partir de la déclinaison le 8 mai à midi moyen à Paris et chercher ce qu'elle serait $3^h 4^m$ avant midi : c'est ce que nous avons fait. Le calcul est ainsi plus simple.

(2) Tables I et II de la *Connaissance des Temps*.

(3) Table III de la *Connaissance des Temps*.

(4) Donné par la *Connaissance des Temps* dans les Tables du Soleil (page de gauche).

OBSERVATIONS DE DISTANCES ZÉNITHALES D'ÉTOILES (MÉRIDIENNES),

Faites le 8 mai 1896, à Hellville (Nosi-Bé).

Latitude approchée....... 13°24 Sud

Longitude approchée.... 3h04 Est

Température.... 20°7
Baromètre........ 760mm
Lecture du zénith. 88°10′30″,0

ÉTOILES.	PASSAGES.		LECTURES.	DISTANCE zénithale observée (1).	RÉFRACTION.	DISTANCE zénithale corrigée (2).	DÉCLINAISON.	LATITUDE. PASSAGES supérieurs	LATITUDE. PASSAGE inférieur.
β Navire...........	Supérieur	Sud	144°02′35″,0	55°52′05″,0	+1′22″,8	−55°53′27″,8	−69°17′41″,1	13°24′13″,3	
α Hydre............	Supérieur	Nord	93.22.10,0	5.11.40,0	+ 5,1	+ 5.11.45,1	+ 8.12.37,3	13.24.22,4	
Régulus............	Supérieur	Nord	114.02.50,0	25.52.20,0	+ 26,8	+25.52.46,8	+12.28.27,0	13.24.19,8	
τ Octant (3)........	Inférieur	Sud	166.38.50,0	78.28.20,0	+4.28,3	−78.32.48.3	−88.02.40,5	346.35.28,8	13°24′31″,2

(1) On obtient ces distances zénithales en retranchant la lecture du zénith des lectures de la colonne précédente.
(2) Donner le signe + aux distances zénithales des étoiles qui passent au Nord, — aux autres.
(3) Nous donnons cette étoile comme exemple de calcul de passage inférieur, mais elle ne serait pas visible dans une lunette de théodolite ordinaire.

15

2° Circomméridiennes.

124. Théorie. — La méthode précédente a l'inconvénient de ne permettre qu'une seule observation de distance zénithale pour chaque astre qui passe au méridien. Il en résulte que l'erreur que l'on commet sur cette observation se reporte en entier sur la latitude. Elle ne permet pas non plus de corriger les distances zénithales observées de l'inclinaison du grand axe sur la verticale. La méthode que nous allons donner n'a pas ces inconvénients. Elle nécessite seulement la connaissance exacte de l'état de la montre sur le temps moyen du lieu ou encore de l'état absolu et de la longitude exacte.

Elle consiste à observer une série de distances zénithales de l'astre un peu avant et un peu après son passage au méridien et à en déduire la distance zénithale qu'il aurait eue à son passage dans le méridien.

Si P est l'angle horaire de l'astre à l'instant de l'observation de la distance zénithale z, la correction x'' à apporter à z pour avoir celle que l'astre aurait eue dans le méridien est

$$x'' = \frac{2\sin^2\frac{P}{2}}{\sin 1''} \times \frac{\cos d \cos l}{\sin(l-d)}$$

$$- \frac{2\sin^4\frac{P}{2}}{\sin 1''} \times \frac{\cos^2 d \cos^2 l}{\sin^2(l-d)} \cot(l-d).$$

L'angle horaire P se déduit de la différence entre l'heure de l'observation et l'heure du passage de l'astre au méridien. Cette dernière se calcule comme nous

l'avons vu (nos 120 et 121), mais exactement. Pour le Soleil, l'angle horaire P est cette différence telle qu'on l'obtient; pour les étoiles, il faut transformer cet intervalle moyen en temps sidéral.

La déclinaison de l'astre s'obtient par la *Connaissance des Temps* pour l'heure du passage au méridien et c'est celle que l'on emploie dans le calcul de la formule. On prend pour l la valeur approchée de la latitude.

125. Moments auxquels il faut faire les observations.— Les observations doivent se faire assez près du méridien pour que cette formule, qui n'est vraie que pour de faibles corrections à la distance zénithale, puisse être employée. La Table suivante donne, en fonction de la latitude et de la déclinaison, les angles horaires limites. Il faudra donc commencer par calculer les heures de la montre entre lesquelles pourra avoir lieu l'observation. On calculera comme nous l'avons montré (nos 120 et 121) l'heure de la montre du passage de l'astre et, en en retranchant et y ajoutant le nombre de minutes donné par la Table, on aura les heures limites des observations.

TABLE.

Limite des Observations de circomméridiennes.

LATITUDE Nord ou Sud.	DÉCLINAISON NORD.								0	DÉCLINAISON SUD.							
	80°.	70°.	60°.	50°.	40°.	30°.	20°.	10°.	0	10°.	20°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	80°.
0°	135m	90	67	51	40	29	20	11	0	11	20	29	40	51	67	90	135
10	128	82	59	43	32	21	11	0	11	20	28	37	47	59	75	96	
20	118	73	51	35	23	12	0	11	20	28	37	46	56	67	82		
30	107	64	42	26	14	0	12	21	29	37	46	55	64	75			
40	95	54	32	16	0	14	23	32	40	47	56	64	73				
50	82	42	19	0	16	26	35	43	51	59	67	75					
60	67	27	0	19	32	42	51	59	67	75	82						
70	45	0	27	42	54	64	73	82	90	96							

126. Pratique des observations. — On observera des distances zénithales doubles du Soleil ou de l'étoile en se conformant aux instructions données dans l'Aide-Mémoire. Pourtant dans le cas du Soleil il faudra noter si l'on observe le bord supérieur ou le bord inférieur, son mouvement étant trop lent pour apprécier le bord qui mord ou celui qui démord. Il faudra autant que possible en observer autant avant qu'après le passage au méridien et l'on en observera d'ailleurs le plus que l'on pourra.

127. Calcul des observations. — On se conformera, dans le cas du Soleil, au type de calcul donné dans le Tableau suivant :

OBSERVATIONS DE SOLEIL FAITES A MAJUNGA LE 1er JUILLET 1896 (CIRCOMMÉRIDIENNES).

Latitude l............ 15°43′ Sud.

Longitude............ $2^h 56^m$ Est.

État de la montre sur le temps moyen du lieu....... $1^h 40^m 52^s,7$

Valeur d'une division du niveau.................... $10'',4$

Température.......................... $21^{mm},7$

Baromètre............................ $761^{mm},0$

Calcul de l'heure de la montre à l'instant du passage du Soleil au méridien.

	h m s
Temps moyen à midi vrai, Paris, le 1er juillet 1896..................................	0.03.40,68 ([1])
Variation pour longitude $2^h 56 = 2,9 \times 0,475$.......	−1,37
Temps moyen à midi vrai du lieu................	0.03.39,31
État de la montre au temps moyen du lieu.......	1.40.52,7
Heure de la montre à midi vrai du lieu.........	10.22.46,6

Calcul de la déclinaison du Soleil.

	° ′ ″
Déclinaison du Soleil à midi vrai, Paris, le 1er juillet 1896..................................	+23.04.22,1
Variation pour longitude $2^h 56 = 2,9 \times 10'',8$...	+ 31,3
Déclinaison à midi vrai du lieu..................	23.04.53,4

Calcul des coefficients de correction.

$$a = \frac{\cos d \cos l}{\sin(l-d)}$$

$d = +23°.05'$	log cos.............	$\bar{1},9638$
$l = -15.43$	log cos.............	$\bar{1},9834$
		$\bar{1},9472$
$l - d = -38.48$	log sin.............	$\bar{1},7968$
	log a.............	0,1504

$$b = a^2 \cot(l-d)$$

log a^2...............	0,3008
log cot$(l-d)$.........	0,0949
log b.................	0,3957

([1]) Écrire ce nombre tel qu'il est donné par la *Connaissance des Temps*.

OBSERVATIONS DE SOLEIL FAITES A MAJUNGA LE 1er JUILLET 1896 (CIRCOMMÉRIDIENNES) (suite).

LUNETTE et bord.		HEURES des observations.	HEURES moyennes.	LECTURES.	DISTANCES zénithales doubles.	NIVEAU ([1]). LECTURES.		MOY.	DIFF.	CORRECT.	DISTANCES zénithales doubles corrigées.	DISTANCES zénithales simples.	RÉFRACTION. — Parallaxe.	DISTANCES zénithales corrigées.
		h m s	h m s											
D	sup.	10.17.05,7	10.17.36,4	61°26′50″,0	77°37′30″,0	2,1	12,1	7,1	−1,7	−18″,4	77°37′11″,6	38°48′35″,8	+28″,0	38°49′03″,8
G	inf.	10.18.07,1		139.04.20,0		3,7	13,9	8,8						
D	sup.	10.19.13,2	10.19.42,1	61.27.50,0	77.35.30,0	3,5	14,3	8,9	+1,9	+20,6	77.35.50,6	38.47.55,3	+28,0	38.48.23,3
G	inf.	10.20.10,9		139.03.20,0		2,0	12,0	7,0						
D	sup.	10.23.34,7	10.24.05,9	61.28.30,0	77.34.40,0	3,4	12,8	8,1	+0,2	+ 2,0	77.34.42,0	38.47.21,0	+28,0	38.47.49,0
G	inf.	10.24.37,1		139.03.10,0		2,9	12,9	7,9						
D	sup.	10.26.35,3	10.27.06,8	61.27.55,0	77.36.30,0	4,2	14,6	9,4	+0,4	+ 5,0	77.36.35,0	38.48.17,5	+28,0	38.48.45,5
G	inf.	10.27.38,9		139.04.25,0		5,1	12,9	9,0						

HEURES ([2]).	P ([3]).	LOG facteur ([4]).	LOG correction ([5]).	CORRECTION ([6]).	DISTANCES zenithales.	DISTANCES zénithales corrigées.
h m s	m s					
10.17.36,4	5.10,2	1,7199	1.8703	−1′14″,2	38°49′03″,8	38°47′49″,6
10.19.42,1	3.04,5	1,2687	1,4191	— 26,2	38.48.23,3	38.47.57,1
10.24.05,9	1.19,3	0,5351	0,6855	— 4,8	38.47.49,0	38.47.44,2
10.27.06,8	4.20,2	1,5673	1,7177	— 52,2	38.48.45,5	38.47.53,3

Distance zénithale moyenne............	+38.47.51,0
Déclinaison............................	+23.04.53,4
Latitude..................................	−15.42.57,6

([1]) *Voir* pour les corrections du niveau le Tableau de la page 174.

([2]) Ce sont les heures moyennes du Tableau au-dessus.

([3]) On obtient ces valeurs de P en faisant les différences entre les heures de la colonne précédente et l'heure de la montre à midi vrai.

([4]) Ces chiffres s'obtiennent en ajoutant à 5,6155 le log de $\sin^2 \frac{P}{2}$ (P étant transformé en degrés, minutes et secondes).

([5]) On obtient ces nombres en ajoutant aux nombres de la colonne précédente le log de a calculé plus haut.

([6]) Ces nombres sont ceux dont les log sont donnés dans la colonne précédente. Ici le second terme de correction est négligeable. Si on devait le calculer on le ferait en ajoutant à 5,6155 le log de $\sin^4 \frac{P}{2}$, puis le log de b calculé plus haut. (Il existe des Tables; on les trouverait, en particulier, dans l'*Astronomie pratique* de M. Caspari, qui donnent a' et b' en fonction de P.)

Dans le cas des *étoiles*, on se servira du Tableau que nous avons donné pour le calcul des circumméridiennes de Soleil, avec les modifications suivantes :

1° On calculera de la façon suivante l'heure de la montre à l'instant du passage de l'étoile au méridien.

		h s m
Ascension droite de l'étoile (β Navire)........		9.12.06,20
Temps sidéral à midi moyen,	h s m	
Paris, le 8 mai 1896.........	3.07.13,06	
Variation pour longitude 3^h04 [1].	—30,22	
Temps sidéral à midi moyen du lieu	3.06.42,84	3.06.42,84
Intervalle sidéral [2].........................		6.15.23,36
Correction pour transformer en temps moyen.		1.01,49
Heure moyenne du passage de l'étoile		6.14.21,87
État de la montre sur le temps moyen du lieu.		1.27.03,5
Heure de la montre à l'instant du passage....		4.47.18,3

2° La déclinaison de l'étoile se prendra directement dans la *Connaissance des Temps* pour la date.

3° On ne corrigera les distances zénithales que de la réfraction, les étoiles n'ayant pas de parallaxe. Si l'on observe une planète, cette correction de la parallaxe devra être faite si cette parallaxe a une valeur appréciable; on se servira pour cela de la Table IV de la *Connaissance des Temps* (on corrigera aussi du demi-diamètre si l'on a observé un bord et si ce diamètre était assez grand pour cela).

(1) On obtient la correction en transformant la longitude, considérée comme exprimée en temps moyen, en temps sidéral à l'aide de la Table VI de la *Connaissance des Temps*. Si la longitude est Est la correction est négative, elle est positive si elle est Ouest.

(2) Ajouter 24 h. à l'ascension droite de l'étoile si la soustraction n'est pas possible.

4° Les valeurs de P, obtenues en faisant les différences entre les heures de la montre des observations et l'heure de cette montre au passage de l'étoile, devront être transformées en temps sidéral (Table VI de la *Connaissance des Temps*) avant que l'on s'en serve pour calculer les corrections a et b.

3° Observation de l'Étoile polaire.

128. Théorie. — *Cette méthode ne convient qu'aux points situés dans l'hémisphère Nord*, puisque ce sont les seuls pour lesquels l'Étoile polaire est visible. Encore faut-il qu'ils soient à une latitude plus grande que 10° ou 12°, car alors l'étoile serait trop bas sur l'horizon pour donner de bonnes observations. C'est à cause de sa simplicité et de sa commodité que nous donnons cette méthode, bien qu'elle ne soit pas d'une application générale. Cette étoile étant toujours très voisine du pôle, sa distance zénithale varie très peu et elle se prête par suite à la détermination de la latitude à un instant quelconque puisqu'elle ne s'écarte jamais beaucoup du méridien.

La correction à apporter à la distance zénithale z observée pour avoir la distance zénithale du pôle, c'est-à-dire le complément de la latitude, est

$$x'' = (90 - d)'' \cos P - (\tfrac{1}{2} \sin 1'')[(90 - d)\sin P]^2 \cot z.$$

P est l'angle horaire de l'étoile à l'instant de l'observation, on l'obtient comme nous l'avons fait plus haut pour les circumméridiennes d'étoiles. La *Connaissance des Temps* donne la distance polaire de l'étoile, c'est-

à-dire $90 - d$. On aura la latitude par la formule

$$l = 90 - (z + x'').$$

129. Pratique des observations. — On observera des doubles distances zénithales suivant la méthode donnée dans l'Aide-Mémoire. Le mouvement de l'étoile étant très lent on la visera en la plaçant derrière la croisée des fils.

130. Calcul des observations. — La *Connaissance*

OBSERVATION DE DISTANCE ZÉNITHALE DE L'ÉTOILE

Latitude............ 20° 52′ Nord.

Distance zénithale observée et corrigée... 69° 33′ 06″,0.

Distance polaire = 90° − *d*.......	88°45′07″,3 = 1° 14′ 52″,7 = 4492″,7
log(90 − *d*)....................	3,65250
log cos P.......................	$\bar{1}$,52840
log(90 − *d*) cos P..............	3,18090
(90 − *d*) cos P ([1])..........	− 151′6″7 = − 25′ 16″,7

([1]) Ce terme a le signe de cos P ; il est ici négatif.

des Temps donne des Tables pour faciliter le calcul, mais il est tellement simple qu'il sera aussi rapide de le faire. On se conformera pour cela au type suivant : Nous avons supposé que l'on avait calculé la distance zénithale en corrigeant les observations comme nous l'avons indiqué dans les différents Tableaux précédents. Nous supposerons également connu l'état de la montre sur le temps moyen du lieu et l'angle P calculé comme pour les circumméridiennes d'étoiles; on achève le calcul de la façon suivante :

POLAIRE FAITE LE 1er JUILLET 1896 A HAIPHONG.

Longitude .... $6^h 57^m$ Est.

P calculé............ $\begin{cases} 16^h 41^m 04^s,6, \\ 250^\circ 16' 09'',0. \end{cases}$

$\log \frac{\sin 1''}{2}$	$\bar{6},38454$		° ′
$2\log(90 - d)$..........	$7,30500$	z..............	69.33.06,0
$2\log \sin P$..........	$\bar{1},94745$	$+ (90 - d) \cos P$ ..	−25.16,7
$\log \cot z$..........	$\bar{1},57274$	2e terme	−16,2
$\log$ 2e terme..........	$1,20973$	$90 - l$..........	69.07.33,1
		l..............	20.52.26,9

III. — Cas particulier.

131. *Méthodes de détermination de la position du lieu quand on ne peut plus se servir des montres.* — Les méthodes de détermination de la position géographique du lieu que nous avons exposées sont basées sur la connaissance de l'heure de Paris à l'instant de l'observation. Bien que le cas doive se présenter très rarement si l'on a plusieurs montres et si l'on prend, pour leur transport et leur maniement, toutes les précautions que nous avons recommandées, elles peuvent, par suite d'accidents, subir telles avaries que leurs indications ne paraissent plus mériter aucune confiance. Nous allons montrer que dans ce cas même l'explorateur ne reste pas absolument désarmé.

132. *Détermination de la latitude.* — Nous avons signalé (n° **113**) qu'une connaissance approchée de la longitude suffit pour déterminer la latitude par des observations de distances zénithales simples de Soleil ou d'étoiles. La méthode des circumméridiennes exige la connaissance de l'état de la montre sur le temps moyen du lieu et l'on a vu (n° **117**) que l'on peut obtenir cet état en connaissant seulement d'une façon approchée la latitude et la longitude du lieu. Ces méthodes seront donc directement applicables dans le cas présent.

133. *Détermination de la longitude.* — Les méthodes que nous allons donner sont basées sur les observations de la Lune. Nous n'avons pas, dans ce qui précède, envisagé le cas de ces observations et cela parce

que la position de cet astre sur la sphère céleste variant très rapidement, elles exigent une très grande précision pour donner des résultats acceptables. Mais la rapidité de ce mouvement va précisément nous servir dans le cas spécial qui nous occupe. L'ascension droite et la déclinaison de la Lune sont données dans la *Connaissance des Temps* pour les heures temps moyen de Paris. Supposons que nous déterminions la valeur de l'un de ces éléments à une heure connue du temps moyen du lieu. Cherchons l'heure de Paris à laquelle cet élément a la valeur que nous venons de déterminer. Nous aurons ainsi au même instant l'heure de Paris et celle du lieu; nous en déduirons la longitude qui est la différence de ces deux heures.

Les observations à effectuer sont toujours extrêmement simples mais devront être faites avec la plus grande précision. C'est cette condition qui fait l'infériorité de ces méthodes sur celles que nous avons données plus haut et qui sont basées sur l'usage des montres. Il ne faut donc jamais s'attendre à trouver dans leur application des résultats d'une précision comparable à celles que donnent ces montres si l'on peut s'en servir. Il suffit de remarquer, pour s'en faire une idée, qu'une erreur de $0^s,1$ sur la valeur de l'ascension droite de la Lune conduit à une erreur de près d'une minute d'arc sur la longitude, soit à peu près deux kilomètres et qu'il est difficile de s'affranchir, dans les observations, d'une série d'erreurs instrumentales et personnelles qui ne sont pas négligeables.

Si les observations sont simples, les calculs au contraire sont longs et assez compliqués. Mais ces calculs ne se feront généralement pas sur le lieu du travail; on

pourra les exécuter au retour en s'entourant à loisir de tous les renseignements contenus dans les Ouvrages spéciaux et, en particulier, dans le *Cours d'Astronomie pratique* de M. Caspari. L'essentiel est seulement de faire de bonnes observations et de réunir tous les éléments nécessaires au calcul. Nous nous bornerons à donner le principe de chaque méthode et le détail des observations à effectuer. Nous indiquerons ensuite brièvement la marche du calcul.

134. Méthode des azimuts de Lune. — *Principe de la méthode.* — Observons l'heure du lieu (dont nous supposons la latitude connue) du passage d'un bord de la Lune dans un azimut connu. Avec cette heure et une longitude approchée nous pourrons calculer l'angle horaire du centre de la Lune à l'instant de l'observation, d'où nous déduirons son azimut et, par suite, celui du bord observé. Si cet azimut est égal à celui dans lequel nous avons fait l'observation, c'est que la longitude employée dans le calcul est exacte, sinon de la différence de ces deux azimuts nous pourrons déduire l'erreur de la longitude.

Pour déterminer l'azimut dans lequel nous avons observé le bord de la Lune, nous noterons l'heure du passage d'une étoile dans cet azimut. Avec cette heure nous pourrons calculer exactement l'angle horaire de l'étoile et, par suite, son azimut qui sera l'azimut cherché.

Moments favorables aux observations. — Puisque nous observons le mouvement des astres en azimut, les observations seront d'autant plus favorables que ce mouvement sera plus rapide. C'est donc dans les environs du méridien qu'elles devront être faites.

Pratique des observations. — 1° On suppose la latitude et l'état de la montre sur le temps moyen du lieu connus. On devra donc les avoir déterminés par les méthodes que nous avons données. Il sera bon de refaire le lendemain une nouvelle observation d'état afin d'avoir une bonne marche de la montre.

2° La *Connaissance des Temps* donne pour tous les jours où la Lune est visible, à la page où sont données les ascensions droites et déclinaisons de cet astre, *les étoiles de culmination*. Ce sont des étoiles dont l'ascension droite et la déclinaison diffèrent peu de celles de la Lune ce jour-là; elles passeront donc dans l'azimut choisi peu de temps avant ou après la Lune et à peu près à la même distance zénithale.

Comme il y a avantage, ainsi que nous l'avons dit, à observer dans le voisinage du méridien, on pourra calculer approximativement l'heure de la montre à laquelle l'une de ces étoiles, précédant la Lune, passe dans le méridien. Le théodolite étant alors bien réglé, on visera cette étoile et on la suivra jusqu'à l'heure à peu près de son passage au méridien. L'étoile étant encore à gauche du fil vertical, on fixera la lunette en azimut, c'est-à-dire en serrant les vis du cercle horizontal et l'on notera l'heure du passage de l'étoile par ce fil vertical.

Puis, *la lunette étant toujours fixée en azimut,* on notera l'heure du passage du bord de la Lune au fil vertical. Il sera peut-être nécessaire, la déclinaison de la Lune n'étant pas exactement celle de l'étoile et par suite sa distance zénithale n'étant pas non plus la même, de faire légèrement mouvoir la lunette autour de son axe de rotation pour que la Lune y soit visible. Il n'y a pas d'ambiguïté sur le bord à observer lorsque la Lune se

présente sous la forme d'un croissant, mais il n'en est plus de même lorsqu'elle est presque pleine, car alors sa forme est presque circulaire. Il faut toujours observer le bord éclairé. Pour savoir quel est ce bord, on cherche dans la *Connaissance des Temps* la date de la pleine Lune et l'on a soin d'observer le bord Ouest avant la pleine Lune et le bord Est après (se rappeler que la lunette renverse).

On observera ensuite le passage d'une ou de plusieurs autres étoiles de culmination, *la lunette restant toujours fixée en azimut.*

Calcul des observations. — 1° On calcule l'azimut de la lunette (A_1). On l'obtiendra en calculant pour chaque étoile son angle horaire P, et l'on en déduira l'azimut (*voir* plus loin n° **150**), puisque l'on connaît la latitude et la déclinaison de cette étoile. On adoptera la moyenne des résultats donnés par toutes les étoiles observées.

2° On calcule ensuite l'azimut du centre de la Lune. Pour cela, on calculera l'heure temps moyen de Paris de l'observation avec une longitude approchée. On obtiendra avec cette heure, dans la *Connaissance des Temps*, l'ascension droite et la déclinaison [1] du centre de la Lune à l'instant de l'observation. La *Connaissance des Temps* donnera également l'ascension droite de la Lune à l'instant de son passage au méridien du lieu. *Il est essentiel de remarquer que les longitudes écrites dans la* Connaissance des Temps *sont comptées de* 0^h *à* 24^h *à partir du méridien de Paris, vers l'Ouest.* La différence entre ces deux ascensions droites donnera

(1) Il faut se conformer, pour le calcul de l'ascension droite et de la déclinaison de la Lune, aux règles données dans la *Connaissance des Temps*, et qui diffèrent un peu de celles que nous avons données.

l'angle horaire du centre de la Lune. Avec la déclinaison, cet angle P et la latitude, on calculera l'azimut du centre de la Lune.

3° On déduira de cet azimut celui du bord observé de la Lune (A'_1) en y ajoutant l'expression

$$\pm \frac{\Delta}{\sin Z} + \Pi \frac{\sin A}{\sin Z} R(\lambda' - \lambda) \sin 1'';$$

Z est la distance zénithale que l'on obtiendra par la formule

$$\sin Z = \frac{\sin P \cos d}{\sin A},$$

Δ est le demi-diamètre de la Lune donné par la *Connaissance des Temps*, Π est la parallaxe horizontale que l'on y trouve également. R rayon terrestre et $\lambda' - \lambda$ différence des latitudes apparente et géocentrique sont donnés par des Tables que l'on trouve en particulier dans l'*Astronomie pratique* de M. Caspari. Il faut faire attention au signe à prendre pour le premier terme et qui dépend du bord observé.

4° On fait la différence ($A_1 - A'_1$) et la correction à apporter à la longitude comptée, comme nous l'avons dit, de 0^h à 24^h à partir du méridien de Paris, vers l'Ouest, est

$$x^s = \frac{1}{15}(A_1 - A'_1)'' \frac{\sin Z}{-\cos d \cos \varpi \times a + b \times \sin \varpi}.$$

Le log de a s'obtient en ajoutant à $\bar{1},39675$ le log de la variation de l'ascension droite en une minute.

Le log de b s'obtient en ajoutant à $\bar{2},22066$ le log de la variation de la déclinaison en une minute.

L'angle ϖ s'obtient en faisant ($A' - A''$) (n° 150).

135. *Méthode des hauteurs égales de la Lune et d'une étoile. — Principe de la méthode.* — Observons à une heure connue du lieu la distance zénithale d'une étoile voisine de la Lune, puis, sans bouger la lunette en distance zénithale, notons ensuite l'heure à laquelle un bord de la Lune passe derrière le fil horizontal. Nous pouvons calculer la distance zénithale exacte de l'étoile, même avec une valeur approchée de la longitude. Si nous faisons de même pour la Lune, nous aurons une distance zénithale qui différera de la précédente et cette différence dépendra de l'erreur commise en calculant les éléments, ascension droite et déclinaison de la Lune, avec une valeur inexacte de la longitude. Cette différence permettra de calculer l'erreur commise sur la longitude.

Moments favorables aux observations. — Puisque l'on observe le mouvement des astres en distance zénithale, le moment le plus favorable sera celui où ce mouvement est le plus rapide, c'est-à-dire où l'azimut de ces astres est voisin de 90°. Il ne faut cependant pas observer des distances zénithales supérieures à 70°.

Pratique des observations. — 1° On suppose la latitude et l'état de la montre sur le temps moyen du lieu connus. On devra donc les avoir déterminés par les méthodes que nous avons données. Il sera bon de refaire le lendemain une nouvelle observation d'état afin d'avoir une bonne marche de la montre. On peut cependant se dispenser de la détermination de l'état en le calculant à l'aide des observations de distances zénithales de l'étoile que comporte la manière d'observer.

2° On choisit dans la *Connaissance des Temps* l'une

des étoiles de culmination qui précèdent la Lune, c'est-à-dire dont l'ascension droite est plus petite. On réglera le théodolite et l'on visera cette étoile après avoir placé, comme nous l'avons recommandé, le zéro de la graduation du niveau de son côté. On notera l'heure de son passage au fil horizontal et on lira ensuite le cercle vertical et le niveau.

Puis, *en ayant soin de ne pas faire tourner la lunette autour de son axe de rotation,* on notera l'heure du passage du bord de la Lune au fil horizontal. Pour amener la Lune dans la lunette, il sera peut-être nécessaire de faire légèrement tourner cette lunette autour du grand axe. On lira le niveau.

On fera ensuite tourner la lunette comme pour la seconde observation des doubles distances zénithales. On visera de nouveau l'étoile et l'on notera l'heure de son passage au fil horizontal. On lira le cercle vertical et le niveau. Puis, comme tout à l'heure, on fera une nouvelle observation du passage du bord de la Lune à ce même fil.

On pourra répéter un certain nombre de fois ces opérations.

Calcul des observations. — 1° Nous avons observé des doubles distances zénithales de l'étoile; on commence donc par déduire de ces observations l'état de la montre sur le temps moyen du lieu en calculant comme nous l'avons indiqué.

2° Avec cet état et les heures d'observation de la Lune, on a les heures temps moyen du lieu de ces observations. Avec la longitude approchée, on prend les éléments de la Lune dans la *Connaissance des Temps* et, avec ces données et la latitude exacte, on calcule les

distances zénithales de la Lune aux instants des observations. On corrige chacune de ces distances en y ajoutant l'expression

$$p \mp \Delta \mp \tfrac{1}{2}(p \mp \Delta)\sin p \sin \Delta.$$

p est donné par la formule

$$\sin p = \mathrm{R} \sin \Pi \sin(\mathrm{Z} - \gamma)$$

et γ par la formule

$$\gamma = (\lambda' - \lambda)\cos \mathrm{A}.$$

Π la parallaxe horizontale de la Lune, Z la distance zénithale, A l'azimut que l'on calcule approximativement par la formule

$$\sin \mathrm{A} = \sin \mathrm{P} \frac{\cos d}{\sin \mathrm{Z}}.$$

Δ est le demi-diamètre de la Lune donné par la *Connaissance des Temps*. R et $(\lambda' - \lambda)$ sont donnés par des Tables (*voir* n° 134). Le signe $-$ se rapporte au bord supérieur, $+$ au bord inférieur.

Les distances zénithales ainsi corrigées sont celles du bord observé de la Lune.

3° Soit Z une distance zénithale double observée de l'étoile; Z′ la distance zénithale double du bord observé de la Lune, calculée comme nous venons de le dire. Si la longitude était exacte, on aurait $\mathrm{Z} = \mathrm{Z}'$. S'il n'en est pas ainsi, l'erreur sur la longitude est donnée en secondes de temps par la formule

$$x^s = \frac{(\mathrm{Z} - \mathrm{Z}')''}{\sin\varpi \cos d \times 15\,a - \cos\varpi \times b}.$$

a et b sont les accroissements de l'ascension droite et de la déclinaison en une seconde de temps sidéral. On les déduit des variations en une minute de temps moyen donnée dans la *Connaissance des Temps*. ϖ se calcule approximativement par la formule

$$\sin\varpi = \sin P \frac{\cos l}{\sin Z}.$$

IV. — Manière de conduire les observations au cours du voyage.

136. La détermination des positions géographiques au moyen des observations astronomiques a pour but de fixer sur la Carte un certain nombre de points entre lesquels on intercalera les levers rapides exécutés par les méthodes données dans la première Partie. Si la route suivie a une direction générale Nord-Sud, il est évident que les erreurs résultant de cette méthode influeront surtout sur les latitudes des points de la route; si cette direction est Est-Ouest, ces erreurs entacheront surtout les longitudes. Dans le premier cas, on devra donc multiplier surtout les observations de latitudes, dans le second celles de longitude.

Les observations de nuit ont l'avantage de permettre la détermination presque simultanée de la latitude et de la longitude, puisque l'on peut observer, dans un espace de temps assez court, une étoile passant au méridien, qui donne la latitude, et une autre étoile dont l'azimut est voisin de 90°, qui donne la longitude si l'on a des montres marchant bien. Elles ont l'inconvénient d'exiger parfois de l'explorateur un surcroît de fatigue, en le forçant à veiller après l'étape.

Les observations de Soleil donnent l'heure du lieu et par suite la longitude, à l'aide des montres, si on l'observe trois ou quatre heures avant ou après son passage au méridien et la latitude en l'observant à l'instant de ce passage ou à des instants voisins. Il faut noter, à ce sujet, que les observations méridiennes ou circumméridiennes de Soleil ne sont plus bonnes lorsque le Soleil culmine à moins de 10° du zénith. La détermination de la latitude et de la longitude par des observations du Soleil ne peut donc se faire dans un court espace de temps.

Il est impossible de donner à l'explorateur des règles précises sur les observations qu'il devra préférer. Cela dépendra beaucoup des conditions dans lesquelles il se trouvera et du temps qu'il aura à séjourner en chaque point. Lorsque l'on aura bien compris les méthodes qui précèdent et leur utilisation pratique, un court apprentissage donnera le moyen de juger quelles sont dans chaque cas celles que l'on devra employer.

CHAPITRE III.

LEVERS DE DÉTAILS.

§ I. — CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

137. Il arrive souvent qu'au cours d'une exploration on rencontre une position importante, comme un point stratégique où il y a utilité de créer un poste, un centre minier, un centre commercial, etc. Il peut alors être intéressant d'en lever le plan avec détails et à plus grande échelle que le reste de la route.

Les méthodes que nous avons exposées, lorsque nous avons traité des levers d'itinéraires, ne donneraient pas, dans ce cas, si on les employait seules, une idée assez exacte de cette partie de territoire, et d'un autre côté les moyens ordinaires de la topographie seraient d'une application trop longue, si l'on a égard au temps dont on dispose.

La combinaison des procédés de levers d'itinéraires et d'une triangulation appropriée aux circonstances permettra, dans la plupart des cas, d'obtenir une représentation suffisamment exacte de la surface à lever.

Le principe de la méthode consistera à déterminer, avec autant de précision que possible, les positions des points principaux du terrain, puis à les relier au moyen

d'itinéraires très soignés qui rempliront le canevas et permettront de fixer tous les détails.

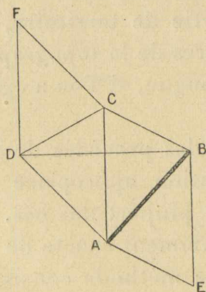
On peut aussi avoir intérêt à relever les contours d'un lac ou d'un élargissement brusque de rivière. Là encore, soit que les rives puissent être parcourues à pied et leurs contours relevés au moyen d'itinéraires, soit que l'on veuille appliquer à chaque bord les procédés de levers de cours d'eau, les résultats obtenus ne seraient pas satisfaisants, si des rectifications au moyen d'une triangulation n'aidaient à préciser les opérations.

§ II. — TRIANGULATION ÉLÉMENTAIRE ET LEVER D'UN PLAN.

I. — Canevas trigonométrique et base de la triangulation.

138. On choisit à l'endroit le plus commode et vers le milieu du terrain, si cela est possible, deux points A

Fig. 63.



et B (*fig.* 63); on y plante deux jalons et l'on mesure

la distance qui les sépare par un procédé que nous verrons plus loin (nº 140). La distance ainsi mesurée s'appelle une *base*. On parcourt ensuite la surface qui doit être soumise aux levers et l'on plante soit des jalons, soit des balises aux points importants que l'on peut apercevoir de la base.

Les positions de A et B étant fixées sur la Carte, on obtiendra celle d'un autre point C, par exemple, si l'on mesure les angles CAB et CBA que font les directions CA et CB avec la droite AB.

Le point C sera déterminé avec exactitude, à la condition que les deux directions qui le fixent ne se coupent pas sous un angle trop aigu ou trop obtus. Si donc l'on a un point F, auquel l'intersection des droites AF et BF se fait sous un trop petit angle, ou bien, s'il n'est pas possible de le bien voir des points A et B, on pourra en fixer la position avec plus de précision en mesurant les angles FDC et FCD après avoir déterminé les points C et D par rapport à A et B.

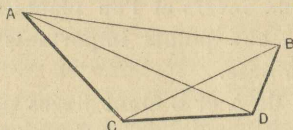
L'ensemble des triangles que l'on forme ainsi porte le nom de *canevas trigonométrique*.

139. Il ne faudrait pas déduire de ce que nous venons de dire que l'on pourra multiplier indéfiniment le prolongement des triangles sur un grand espace de terrain. Il serait nécessaire pour cela de mesurer d'une façon très précise la distance AB et les angles, conditions que nous ne pouvons réaliser en expédition. Nous nous supposerons donc dans le cas d'une étendue restreinte de territoire.

Il peut arriver que le terrain ne se prête pas au choix d'une base rectiligne; on adoptera alors une base brisée

telle que ACDB (*fig*. 64). En mesurant alors les divers éléments AC, CD, DB, ainsi que les angles BAC, ACB,

Fig. 64.



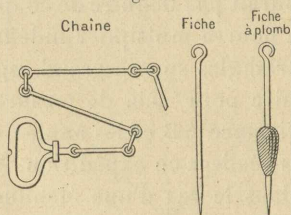
BCD, CDB, ABC, on en déduira la longueur AB par résolution des triangles, comme nous le verrons plus loin.

II. — Mesure de la base.

140. Les instruments employés pour la mesure de la base sont : la *chaîne d'arpenteur de* 10 *mètres* ou encore le *ruban d'acier*. L'un et l'autre sont accompagnés de onze fiches, dont dix dites : *simples*, et la dernière : *fiche à plomb*, qui sert au chaînage en terrain incliné.

La chaîne est composée de chaînons de 20^{cm} de lon-

Fig. 65.

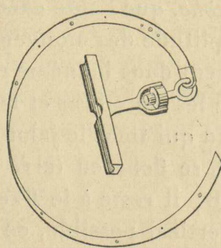


gueur, reliés par des anneaux (*fig*. 65). Les anneaux qui marquent les mètres sont en cuivre, les autres en

fer et celui du milieu est un peu plus grand que les autres. Les extrémités sont pourvues de poignées dont les dimensions sont comprises dans la longueur totale; elles portent deux rainures en croix dans lesquelles on peut engager la fiche.

Le ruban (*fig.* 66) est formé d'une lame d'acier très mince de 15 à 16^{mm} de largeur, divisée en mètres et décimètres et munie à ses extrémités de deux poignées

Fig. 66.



analogues à celles de la chaîne. On l'emploie avec avantage en terrain incliné parce que, étant plus léger, il est plus facile à tendre; puis il est moins susceptible d'allongement.

Nous supposerons qu'avant le départ on ait étalonné la chaîne ou le ruban, c'est-à-dire vérifié leur longueur exacte de 10^{m} ou déterminé la quantité qu'il faut ajouter ou retrancher pour obtenir 10^{m} lorsque l'on porte une longueur entière sur le terrain.

141. Supposons que l'on se serve de la chaîne. Les procédés sont les mêmes avec le ruban.

Pour faire un chaînage entre deux points A et B, marqués par des jalons, il faut deux opérateurs.

On commence par faire planter un certain nombre de jalons intermédiaires, distants de 50^m environ, qui définiront d'une manière précise la direction AB et guideront le chaînage.

Pour cela, l'opérateur se place à quelque distance en arrière du premier jalon A, son aide part de ce point, se dirige vers B et, arrivé à la distance voulue, s'arrête, soulève un jalon entre deux doigts de la main droite et regarde l'opérateur. Celui-ci fait avec ses bras les signes de *à droite, à gauche,* que l'aide exécute en diminuant à chaque fois l'amplitude des mouvements. Lorsque les trois jalons paraissent dans la même direction, l'opérateur lève ensemble les deux bras et les laisse retomber; l'aide ouvre la main qui tient le jalon et celui-ci, abandonné à lui-même, se fiche en terre en un point situé sur la direction AB; il reste à le fixer solidement et à le rendre le plus vertical possible, ce qui se fera soit à l'œil, soit à l'aide de fil à plomb. On continue de la même manière jusqu'à une distance approximative de 50^m du point B.

Cela fait, l'opérateur prend en main l'une des extrémités de la chaîne et la place bien exactement au point A, l'aide saisit l'autre extrémité, part en avant dans la direction du premier jalon en emportant les dix fiches et la fiche à plomb et, pendant le trajet, assujettit l'une d'elles dans la rainure de la poignée. Lorsque la chaîne est tendue, l'aide se tourne du côté de l'opérateur en s'accroupissant, obéit aux mouvements de droite et de gauche qui lui sont ordonnés, et lorsqu'il est *bien,* enfonce la fiche en ayant soin de la placer aussi verticalement que possible.

Les deux chaîneurs se relèvent ensuite, marchent

ensemble dans la direction tracée et s'arrêtent quand celui qui est en arrière arrive à hauteur de la première fiche. Ce dernier embrasse la fiche posée avec la poignée qu'il a dans la main, en ayant soin de l'assujettir dans la rainure sans la faire bouger. Il fait placer la seconde fiche dans la direction, puis se relève en emportant la fiche.

Lorsque l'aide n'aura plus de fiche en main, sauf la fiche à plomb, il continuera dans la direction, tendra la chaîne et reviendra vers l'opérateur, qui lui remettra toutes les dix fiches. On aura ainsi chaîné 100^m et il faudra marquer sur un carnet ou se rappeler le nombre de fois que l'on fait ainsi cet échange.

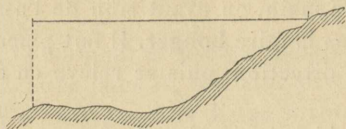
Lorsque l'aide arrivera au point B, il abandonnera sa poignée et, tendant la chaîne, lira l'appoint en estimant à vue les centimètres.

La longueur totale AB se composera ainsi d'autant de fois 100^m qu'il y aura eu échange de fiches, d'autant de fois 10^m que l'opérateur a de fiches en main, plus celle qui est à ses pieds et enfin de l'appoint.

Sous son apparente simplicité, cette manière de faire est sujette à des erreurs fréquentes, principalement dans les nombres de centaines et de dizaines de mètres. On ne saurait donc apporter trop d'attention au chaînage et le vérifier par au moins un retour en sens inverse. La longueur de la base que l'on adoptera alors sera la moyenne des deux résultats quand on se sera bien assuré qu'il n'y a pas oubli d'un nombre entier de longueurs de chaînes.

142. Lorsque la longueur à mesurer se présente en terrain incliné (*fig.* 67), on procède par ressauts ho-

Fig. 67.



rizontaux de 10^m, de 5^m et même moins, si cela est nécessaire.

Lorsque l'on opère en descendant, l'opérateur ayant placé sa poignée contre la fiche précédente, l'aide élève la chaîne jusqu'à ce qu'elle lui paraisse horizontale et, retournant alors sa poignée de manière que les branches en soient horizontales, il engage la fiche à plomb dans la rainure transversale et la laisse tomber verticalement sur le sol. Il la remplace ensuite par une fiche ordinaire.

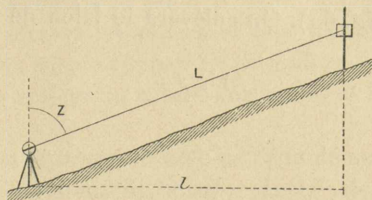
Lorsqu'on opère en montant, l'opérateur est muni d'un jalon qu'il dresse verticalement au-dessus de la fiche posée et il élève la chaîne le long du jalon jusqu'à ce qu'elle lui paraisse horizontale. Quant à l'aide, il place sa poignée en contact avec le sol.

Quand on chaîne en terrain uni, horizontal ou peu incliné, on obtient, en usant de toutes les précautions voulues, la longueur de 100^m avec une erreur qui ne dépasse pas 10^{cm}, ce qui correspond à une approximation du $\frac{1}{1000}$. En terrain incliné, on ne peut plus compter que sur une approximation moitié moindre.

143. Si le terrain se présente en pente régulière, il vaut mieux lever les incertitudes du chaînage par res-

sauts en mesurant la distance suivant la pente et, comme il nous faut sa projection sur l'horizon, la réduire en observant au théodolite la distance zénithale du sommet sur lequel on aura planté un jalon dont le point de visée

Fig. 68.



au-dessus du sol sera à une hauteur égale à celle de la lunette du théodolite (*fig.* 68).

Si L est la longueur mesurée suivant la pente, z la distance zénithale, la longueur réduite l se calculera par la formule

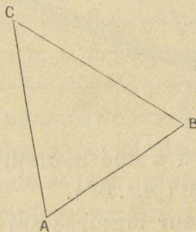
$$l = L \sin z.$$

III. — Mesure des angles.

144. La mesure des angles des différents triangles du canevas se fait au moyen du théodolite.

Supposons que l'on commence les opérations par la station A (*fig.* 69). On enlèvera le jalon de A et on le

Fig. 69.



remplacera par un piquet en bois, de manière à ne pas perdre le trou où il a été fixé.

On placera le théodolite en station au-dessus du piquet de la même façon que nous avons dite en traitant des observations astronomiques (Chap. II, § II, n° **112**); mais on aura soin de se servir du fil à plomb pour que l'axe de l'instrument se trouve, après rectification, bien exactement placé au-dessus du piquet.

On réglera le théodolite d'après les principes prescrits [rectifier au début la collimation (n° **106**)], puis on procédera à la mesure des angles qui doivent servir à déterminer la position des sommets de la triangulation (n° **138**).

Considérons-en un, C, en particulier, et voyons comment on opère. Deux méthodes doivent être employées

suivant que le théodolite est à lunette centrale ou à lunette excentrique.

145. *Supposons le cas d'une lunette centrale.*

L'alidade du cercle horizontal étant rendue libre et la pince d'arrêt du cercle vertical étant desserrée, on pointera avec la lunette le jalon B, d'abord approximativement. On serrera les pinces et l'on rectifiera le pointé par les deux vis de rappel. On lira alors les indications des deux verniers du cercle horizontal et l'on en fera la moyenne.

L'alidade et le cercle vertical étant de nouveau rendus libres, on pointera la lunette sur le jalon C, d'abord approximativement, puis, serrant les pinces, définitivement au moyen des vis de rappel, on lira les indications des verniers du cercle horizontal et l'on en fera la moyenne.

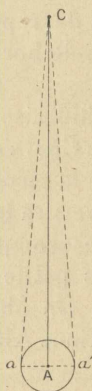
Il est clair que si la chiffraison va en croissant dans le sens de B vers C, l'angle CAB s'obtiendra en soustrayant la première moyenne de la seconde. Si la graduation va en décroissant, on intervertira les termes de la soustraction ; enfin, si l'origine est comprise entre AB et AC, on ajoutera 360° à la plus petite moyenne et l'on fera ensuite la soustraction. On obtiendra ainsi dans tous les cas l'angle des directions AB et AC projetées sur le plan horizontal.

Après avoir opéré de la même façon pour tous les points du canevas que l'on doit relever de la station A, on terminera les opérations en visant à nouveau le point B, et, dans ce dernier pointé, on devra retrouver la même lecture que dans le premier ; ou, du moins, ces deux lectures ne devront différer que de quantités pro-

venant des différences de pointés et d'appréciation des lectures des verniers. C'est ce que l'on appelle *faire un tour d'horizon*. Si les différences ne pouvaient être acceptables, c'est que le cercle horizontal de l'instrument aurait subi un mouvement dans le cours des opérations, et il y aurait lieu de les recommencer jusqu'à satisfaction.

146. *Voyons maintenant le cas d'un théodolite à lunette excentrique* (*fig.* 70). Si l'on effectue une seule visée sur le point C comme dans le cas précédent, la lecture du cercle horizontal donnera la direction aC.

Fig. 70.



Elle différera de la direction AC du petit angle ACa, qui dépend de la distance du point et de l'excentricité Aa de la lunette.

Pour faire disparaître cette erreur, on fera deux visées, la lunette étant placée successivement à droite et

à gauche de l'observateur; la moyenne des lectures donnera la direction AC débarrassée de toute erreur due à l'excentricité.

147. Si donc nous revenons aux opérations décrites précédemment, on commencera par pointer le jalon B, la lunette à droite, on fera les lectures; on visera ensuite le jalon C et successivement tous ceux que l'on doit relever de la station A; on terminera cette première série par un retour sur B, ce qui constituera un premier tour d'horizon. Puis on retourne la lunette et l'instrument, et l'on recommence les mêmes observations, la lunette étant cette fois placée à gauche; on termine par un second retour sur B.

On voit donc qu'avec un théodolite à lunette excentrique, il faudra toujours faire deux visées sur un même objet lorsque la distance de celui-ci ne peut être considérée comme infinie, ce qui est toujours le cas dans une triangulation.

Lorsque l'on aura terminé les observations à la station A, on enlèvera le piquet qui a servi à marquer le point, on replacera le jalon et l'on transportera l'instrument à la station B, où l'on opérera comme pour la première.

Si l'on doit relever des triangles du canevas prolongé, on transportera le théodolite aux points choisis et l'on procédera comme il vient d'être dit.

Ce ne sont pas seulement les sommets de triangles que l'on devra relever des stations, mais encore tous les points importants de l'intérieur du canevas. On en fixera ainsi les positions sur le plan par recoupements.

Dans le choix des triangles on devra avoir soin de

définir les angles des sommets par des directions qui ne se coupent pas sous des angles trop aigus ou trop obtus.

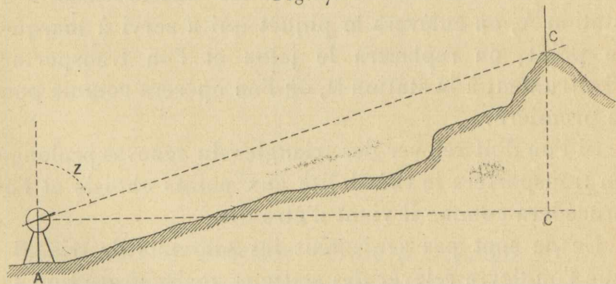
Il est essentiel de ne pas confondre les points pendant que l'on opère ; on devra donc tenir le carnet avec beaucoup de soin, désigner chaque balise par un nom différent et, s'il y a chance de confusion dans les visées, les munir de fanions de couleurs diverses.

Nous renvoyons plus loin (p. 220) pour le modèle de carnet employé dans une triangulation.

IV. — Nivellement.

148. Le nivellement des sommets de la triangulation et, en général, de tous les points intéressants renfermés dans le canevas, s'exécutera au moyen de la mesure des distances zénithales en appliquant une méthode analogue à celle que nous avons donnée pour les astres (*fig.* 71).

Fig. 71.



Soient A une station au théodolite dont la hauteur est connue, C un point remarquable ou un sommet du

canevas dont il s'agit d'établir la différence de niveau par rapport à A.

On commencera par viser une première fois le point C, la lunette à droite, puis, faisant opérer une demi-révolution à l'instrument autour de son axe vertical, on visera une seconde fois le point C, la lunette à gauche.

La différence des lectures du cercle vertical donnera le double de la distance zénithale.

Comme la distance des deux points n'est jamais bien grande, il sera inutile dans ces opérations d'employer toutes les précautions qui ont été prescrites pour les visées d'un astre. On réglera seulement le théodolite très exactement, on se contentera de lire un seul vernier et l'on négligera les lectures du niveau.

Pour obtenir la différence de niveau Cc, il restera à résoudre le triangle ACc. Les opérations précédentes de la triangulation font connaître la distance Ac, on déterminera donc la hauteur inconnue par la formule

$$Cc = Ac \cot z;$$

ou bien on se servira de l'abaque dont nous avons donné la construction et l'emploi lorsque nous avons parlé du clisimètre. Il suffit de remarquer que la distance zénithale est le complément à 90° de la hauteur angulaire.

Si, au lieu d'être plus élevé que la station, le point C est au-dessous, on voit aisément que la manière de procéder sera la même; la distance zénithale, au lieu de se traduire par un angle aigu, se présentera avec la valeur d'un angle obtus.

Dans le premier cas, c'est par une addition de la différence de niveau et de la cote du point A que l'on

obtiendra celle du sommet visé; dans le second cas, c'est par une soustraction.

V. — Remplissage.

149. Lorsque ces opérations auront été exécutées et les résultats consignés au carnet, on parcourra le canevas en suivant les côtés des triangles si cela est possible. Au moyen du podomètre et du baromètre on déterminera les cotes des divers points situés entre les sommets. Dans le cas où l'on ne peut suivre exactement les côtés, on fera des levers d'itinéraires comme à l'ordinaire et on les refermera soit sur les sommets, soit sur les points remarquables dont les positions ont été fixées par recoupements au théodolite.

On obtiendra ainsi une série de cheminements que l'on conduira de telle sorte que tous les détails de l'intérieur du canevas soient déterminés.

Grâce aux altitudes des stations de fermeture, que l'on aura obtenues à l'aide des distances zénithales, on pourra rendre plus précis les résultats du baromètre qui sert dans la fixation des cotes des points intermédiaires.

Supposons, en effet, que l'on parte du point A, d'altitude connue, pour se rendre au point C, dont on connaît aussi l'altitude. On a lu les cotes des points A, *a*, *b*, . . ., C sur l'instrument. En arrivant au point C, la hauteur lue au baromètre présentera avec l'altitude connue de ce point une certaine différence. On répartira alors cette différence entre toutes les cotes des points intermédiaires proportionnellement aux temps employés depuis le départ. Si la variation barométrique a été

constante pendant le temps du lever, ce que l'on peut supposer pour de petites distances en temps normal, les altitudes ainsi obtenues présenteront de sérieuses garanties d'exactitude.

C'est là, en somme, une application particulière de la méthode générale que nous avons indiquée pour rectifier, en fin d'expédition, les cotes données par le baromètre, dans le courant du voyage, en comparant la cote connue du point d'arrivée avec celle que l'on a déduite de l'observation de l'instrument.

Quand on sera armé de tous ces itinéraires et qu'on les aura tracés sur la Carte, on pourra donner une idée nette de la configuration du terrain en élévation en dessinant des courbes de niveau, suivant la méthode que nous donnons dans le Chapitre IV.

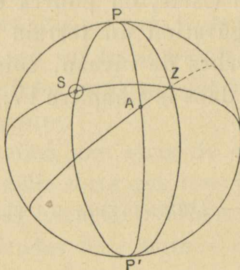
VI. — Orientation du plan.

150. Dans un lever de détail, on ne peut se servir, pour orienter le plan, des renseignements donnés par la boussole, qui ne sont pas assez précis : il faut alors avoir recours à des opérations astronomiques. Il est évident qu'il suffit de déterminer l'orientation de l'une des droites joignant deux jalons quelconques du plan, puisque cette droite une fois orientée tout le plan le sera par cela même. Il y aura intérêt, pour augmenter la précision de cette opération, à choisir celle de ces droites qui est la plus longue. On se placera à l'une des extrémités et l'on déterminera, comme nous allons le dire, l'azimut de l'autre extrémité.

Nous avons défini (n° 69) l'azimut d'un astre. Par analogie, on appelle *azimut d'un point* A *terrestre l'angle du vertical* ZA *de cet astre avec le méridien du lieu* ZP. Cet angle se compte de 0° à 180°, à partir du méridien du lieu, du Nord vers l'Est et vers l'Ouest.

Pour obtenir cet angle nous observerons, à un instant convenable, l'angle du vertical du Soleil et de celui du point. Ce sera l'angle AZS de la *fig.* 72. Si nous

Fig. 72.



connaissons à ce même instant l'azimut PZS du Soleil, nous pourrons en déduire l'azimut

$$PZA = PZS + SZA$$

du point.

Nous supposerons connue la position géographique du point Z, déterminée comme nous l'avons dit, et aussi l'état de la montre sur le temps moyen du lieu. Connaissant alors l'instant de l'observation, nous en déduirons l'angle horaire P du Soleil à cet instant. Nous connaissons la latitude l et la déclinaison d du

Soleil données par la *Connaissance des Temps*. Nous aurons l'azimut A par les formules

$$\tang A' = \cot \frac{P}{2} \frac{\cos \frac{l-d}{2}}{\sin \frac{l+d}{2}}, \qquad \tang A'' = \cot \frac{P}{2} \frac{\sin \frac{l-d}{2}}{\cos \frac{l+d}{2}},$$

$$A = A' + A''.$$

151. Moments favorables aux observations. — Le moment le plus favorable pour ces observations est aussi celui qui convient pour les observations de longitude, c'est-à-dire trois ou quatre heures avant et après le passage au méridien. Cela aura l'avantage de permettre de faire presque simultanément ces deux observations.

152. Pratique des observations. — Le théodolite étant réglé, on commencera par viser le point dont on veut déterminer l'azimut. On fera les lectures du cercle horizontal. Si la lunette est excentrique, on le visera lunette à droite et lunette à gauche.

On dirigera alors la lunette vers le Soleil et l'on notera l'heure de la montre à laquelle le bord Est, par exemple, passe par le fil vertical. On fera la lecture du cercle horizontal. Puis on fera tourner la lunette de 180° autour du grand axe, on la ramènera sur le Soleil et l'on notera l'heure à laquelle le bord Ouest passe par le fil vertical. On fera de nouveau la lecture du cercle horizontal. On continuera en observant le même bord ouest, après rotation de la lunette. Il faut observer les bords dans l'ordre suivant : Est, Ouest, Ouest, Est, Est,

Ouest, etc. On prendra une série de quatre à six doubles observations.

Il faut veiller à ne pas confondre les bords, et pour cela remarquer, si l'on observe avec le prisme, que le bord de droite du Soleil paraît à droite et le bord de gauche à gauche. On notera le bord observé chaque fois en écrivant bord droit ou bord gauche (il s'agira du bord vu dans la lunette).

Il sera bon de viser de nouveau le point terrestre après les observations de Soleil et de vérifier que les lectures du cercle horizontal sont les mêmes qu'au début.

TENUE DU CAHIER D'OBSERVATIONS.

Observation d'azimut, faite à Maudji, le 6 *mai* 1897 (*soir*).

BORD.	HEURE.	LECTURES.		SIGNAL.	LECTURES.	
		1er vernier.	2e vernier.		1er vernier.	2e vernier.
				Signal.	256°21′20″0	36°21′25″0
	h m s	° ′ ″	° ′ ″			
Droit...	10.10.22,0	233.57.50,0	33.57.55,0			
Gauche.	01.12.37,5	233.16.50,0	33.16.45,0			
Gauche.	10.14.34,0	233.11.25,0	33.11 30,0			
Droit...	10.15.59,0	233.40.00	33.40.15,0			
				Signal.	256°21′25″0	36°21′30″0

153. Calcul des observations. — Nous supposons connu l'état de la montre sur le temps moyen du lieu, que l'on aura pu déterminer par les observations que nous avons expliquées plus haut (ou, ce qui revient au

même, l'état absolu et la longitude). On pourra donc calculer l'angle P pour l'instant de l'observation et la déclinaison *d* du Soleil.

On pourra soit, comme nous allons l'indiquer, faire le calcul pour chaque groupe d'observation des deux bords, soit faire la moyenne totale des heures et des lectures, et faire un seul calcul. Cette dernière méthode, plus expéditive, sera généralement suffisante.

On se conformera au type de calcul suivant :

OBSERVATION D'AZIMUT FAITE A MAUDJI LE 6 MAI 1897 (SOIR).

Latitude... 0°37′33″,6 Sud Longitude.... $0^h 26^m$ Est.

État de la montre sur le temps moyen du lieu.... $5^h 39^m 40^s,1$.

Lecture de la visée du signal.... 256°21′25″,0

BORD.	HEURES.	HEURES moyennes.	LECTURES. 1er vernier.	LECTURES. 2e vernier.	LECTURES moyennes.	CENTRE.
Droit...	10.10.22,0	10.11.29,7	233.57.50	33.57.55	233.57.52,5	233.37.20,0
Gauche.	10.12.37,5		233.16.50	33.16.45	233.16.47,5	
Gauche.	10.14.34,0	10.15.16,5	233.11.25,0	33.11.30	233.11.27,5	233.25.17,5
Droit...	10.15,59,0		233.40.00,0	33.40.15	233.40.07,5	

Calcul de l'angle P.

	h m
Heure moyenne de la montre..................	10.13
État de la montre sur le temps moyen du lieu..........	5.59
Heure moyenne du lieu..................	4.12 s.
Longitude Est..................	0.26
Heure moyenne de Paris des observations..........	3.46
	h m s
Temps vrai à midi moyen, Paris..................	0.03.33,05
Variation pour $3^h 46^m = 3,7 \times \frac{4,25}{24}$..............	0,66
Temps vrai à l'heure moyenne des observations......	0.03.33,71
Heure des observations..................	10.11.29,7
État de la montre sur le temps moyen du lieu........	5.59.40,1
Heure moyenne du lieu..................	4.11.09,8
Temps vrai..................	0.03.33,7
P..................	4.14.43,5
	63°40′52″,5
$\frac{P}{2}$..................	31°50′26″,2

(1) Il faut avoir soin de noter le signe de chacune de ces lignes trigonométriques pour avoir le signe de A′ et de A″.

Calcul de la déclinaison.

Déclinaison à midi moyen, Paris..................	+16°41′17″,8
Variation pour $3^h 46^m = 3,7 \times 41,75$..................	2.34,4
Déclinaison..................	+16.43.52,2 = d

Calcul de A′ et de A″.

l...... − 0°37′33″,6

d...... +16.43.52,2

$l+d$... +16.16.18,6 $l-d$... −17°21′25″,8

$\frac{l+d}{2}$... + 8.08.09,3 $\frac{l-d}{2}$... − 8.40.42,9

$\log\cos\frac{l-d}{2}$. $\bar{1},9949988$ (1) (+) $\log\sin\frac{l-d}{2}$... $\bar{1},1786756$ (−)

$\log\sin\frac{l+d}{2}$. $\bar{1},1508337$ (+) $\log\cos\frac{l+d}{2}$.. $\bar{1},9956065$ (+)

0,8441651 $\bar{1},1830691$

$\log\cot\frac{P}{2}$.... 0,2069178 (+) 0,2069178 (+)

$\log\tan$g A′... $\bar{1},0510829$ (+) $\log\tan$g A″..... $\bar{1},3899869$ (−)

A′... +84°55′,10 A″..... −13°47′29″,0

$$A = A' + A'' = 84°55'10'' - 13°47'29'',0 = 71°07'41'',0.$$

Lecture du signal..........	256°21′25″,0
Lecture du Soleil..........	233.37.20,0
Angle du Soleil et du signal	22.44.05
Azimut du Soleil..........	71.07.41,0
Azimut du signal..........	48.23.36,0 Ouest (2)

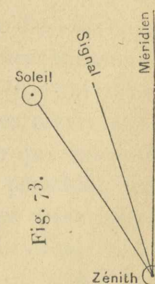


Fig. 73.

(2) Il est bon de faire une figure grossière analogue à la *fig.* 73 donnant les positions relatives du Soleil, du point et du méridien, de façon à ne pas faire d'erreur dans le calcul de l'azimut du signal.

154. Remarque. — On voit que *ces observations*, pouvant être faites au moment où l'on fait celles destinées à donner la longitude et ne demandant que peu de temps, *pourront être répétées fréquemment*, même dans le cas où l'on ne fait pas un lever de détail. Si, par exemple, on voit dans les environs un ou plusieurs sommets ou points remarquables, que l'on a placés sur l'itinéraire, on pourra en déterminer l'azimut, et cela servira à vérifier la rédaction de la Carte.

Si, après avoir ainsi déterminé l'azimut d'un point, on place la boussole sur le pied du théodolite et que l'on observe l'azimut magnétique de ce point, *la différence des deux azimuts donnera une valeur approchée de la déclinaison magnétique*.

VII. — Cas particulier. — Lever d'un lac ou d'une partie élargie de rivière.

155. Parmi les problèmes du genre de ceux que nous venons de traiter, on peut ranger les levers de la surface occupée par un lac ou par un élargissement momentané et important d'une rivière.

Pour obtenir une représentation suffisamment exacte, il faudra recourir encore à une triangulation rudimentaire, et la méthode que l'on emploiera ne différera en rien de celle que nous avons développée plus haut.

On choisira sur une portion de rive un espace approprié à la mesure d'une base que l'on tâchera de prendre aussi grande que possible. On la mesurera comme nous avons dit, et l'on implantera des jalons ou des balises aux points importants situés sur les bords de la nappe d'eau, tels que des caps, des débouchés de rivière, des fonds de baies, etc.

Au moyen du théodolite, on relèvera les angles des triangles formés par les extrémités de la base et les sommets choisis, puis les distances zénithales, s'il y a lieu, pour obtenir les altitudes.

On déterminera ensuite la configuration des rives par des itinéraires que l'on refermera sur les divers sommets.

Dans le cas où les rives ne peuvent être suivies à pied, on remplacera les itinéraires par des levers exécutés avec l'aide d'une embarcation légère qui côtoiera les bords en les serrant le plus près possible. On obtiendra encore par ce procédé une image assez fidèle de la nappe d'eau dont on veut la représentation.

Il peut être aussi intéressant de connaître approximativement la configuration du fond. On y arrivera très simplement de la manière suivante.

Après s'être muni d'une ligne de sonde, d'un plomb et de la boussole, on fera parcourir à l'embarcation la ligne CD, par exemple (*fig.* 74). Il suffira pour cela, étant en C, de remarquer un point D′ qui paraisse

Fig. 74.

derrière D, et de gouverner vers D de façon à toujours voir D′ derrière D. On sera ainsi assuré de suivre la ligne droite CD. On fera jeter la sonde d'une façon continue et aussi souvent que possible, sans pour cela arrêter l'embarcation. Quand on aura fait ainsi dix sondes, par exemple, on s'arrêtera et, pendant que l'on exécutera une nouvelle sonde, on relèvera à la boussole le plus de signaux possible B, A, ..., et l'on notera ces relèvements.

On parcourra ainsi plusieurs directions convenablement choisies, et l'on obtiendra en fin de compte un grand nombre de points dont l'ensemble permettra de fixer avec assez de netteté la configuration générale du fond.

Lorsque l'on aura reporté toutes les stations, pour obtenir sur la Carte la position d'un point où l'on a sondé, il suffira de tracer, à partir du point visé, tel que B, un orientement égal au supplément à 180° de celui qui a été pris sur le terrain. La rencontre de cet orientement avec la direction CD sur laquelle on a stationné déterminera la position du point de sonde V.

Il restera enfin à orienter la carte, ce que l'on fera par une observation d'azimut de l'un des côtés de triangles et plus spécialement de la base.

MODÈLE DE CARNET DE TRIANGULATION.

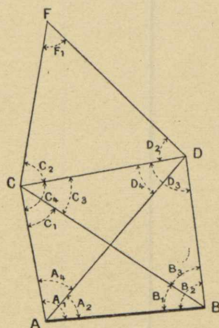
Station :

POINTS visés.	LUNETTE A DROITE.				LUNETTE A GAUCHE.				MOYENNE des lectures du cercle horizontal.	ANGLES obtenus par différences des moyennes précédentes.	DISTANCES zénithales.	OBSERVATIONS ET CROQUIS.
	CERCLE HORIZONTAL.			CERCLE vertical.	CERCLE HORIZONTAL.			CERCLE vertical.				
	1[er] vernier.	2[e] vernier.	Moyenne.		1[er] vernier.	2[e] vernier.	Moyenne.					

VIII. — Calcul de la triangulation.

156. Soit AB la base de la triangulation, C, D, ..., les points dont il s'agit de déterminer les positions par rapport à AB (*fig.* 75). Nous connaissons la longueur de la base que nous avons mesurée sur le terrain et les

Fig. 75.



angles A_1, B_1 et C_1 observés comme nous l'avons dit. C_1 aura été observé ou se déduira de la formule

$$C_1 = 180^\circ - A_1 - B_1.$$

On aura donc

$$BC = AB \frac{\sin A_1}{\sin C_1},$$

$$AC = AB \frac{\sin B_1}{\sin C_1}.$$

Si du point A comme centre nous décrivons un arc de cercle de longueur AC, prise à l'échelle du dessin, puis du point B un arc de cercle de longueur BC, ces deux arcs se couperont au point C, position du point cherché.

On calculerait de même la position d'un point D à l'aide de la base AB et des angles A_2 et B_2 observés.

Pour calculer un point F que l'on a relevé des points C et D, on commence par déterminer la longueur CD, qui peut s'obtenir au moyen de la longueur BC, calculée précédemment, et des angles B_3, C_3, D_3. On a en effet

$$CD = BC \frac{\sin B_3}{\sin D_3}.$$

Si l'on considère la même longueur CD comme appartenant au triangle ACD et si on la calcule par la formule

$$CD = AD \frac{\sin A_4}{\sin C_4},$$

on aura une vérification de l'exactitude des calculs.

Connaissant alors CD, on obtiendra CF par

$$CF = CD \frac{\sin D_2}{\sin F_1},$$

puis DF par

$$DF = CD \frac{\sin C_2}{\sin F_1},$$

et la position du point F sera fixée.

157. Lorsque l'on aura ainsi calculé tous les côtés de la triangulation, on fera la construction des points du

canevas à l'échelle qui conviendra le mieux, généralement le $\frac{1}{10000}$. Après avoir tracé les itinéraires à une échelle double, on les réduira au pantographe, comme nous le montrerons dans le Chapitre IV, de manière à les faire cadrer entre leurs points de départ et d'arrivée. On tracera enfin des courbes de niveau par la méthode que l'on trouvera plus loin.

CHAPITRE IV.

RÉDACTION DE LA CARTE.

§ I. — CHOIX DU SYSTÈME DE DÉVELOPPEMENT.

158. Toutes les mesures exécutées dans le cours des levers ont été faites sur une surface sphérique et, comme cette surface n'est pas développable, les figures que l'on va tracer subiront plus ou moins de déformation suivant le système de report que l'on adoptera.

Le choix du système de représentation, qui est une projection ou un développement, dépend de toutes espèces de conditions : des limites en latitude entre lesquelles on a opéré, des positions absolues de ces latitudes, de la surface qu'embrassent les itinéraires, de l'échelle à laquelle on veut reporter les travaux, etc. Le voyageur devra donc, au moment où il construit la Carte, choisir le système de représentation qui donnera le moins de déformation dans chaque cas particulier.

Sans vouloir imposer des règles absolues nous allons exposer deux méthodes qui suffiront généralement.

Nous écarterons d'abord les projections que l'on emploie pour les mappemondes ou a représentation d'un continent et nous ne nous occuperons que des systèmes de développement dus à Mercator et à Flamsteed.

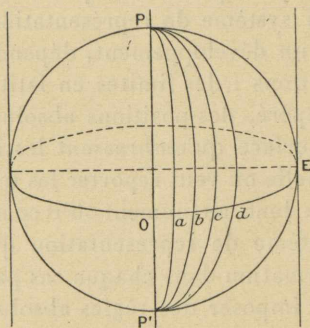
Le premier pourra être employé avantageusement

toutes les fois que l'on a opéré dans les régions tropicales et toutes les fois que dans nos régions on ne parcourt que quelques degrés en latitude. Le second servira dans les autres cas et donnera de bons résultats pourvu que l'étendue des levers ne dépasse pas celle d'un pays comme la France.

159. Tracé du canevas dans le système de Mercator. — Rappelons d'abord très succinctement les principes sur lesquels repose la construction d'une Carte dans le système inventé par Gérard Mercator, géomètre hollandais du XVI[e] siècle.

Supposons (*fig.* 76) un cylindre tangent à la sphère terrestre le long de l'équateur et marquons sur la courbe

Fig. 76.

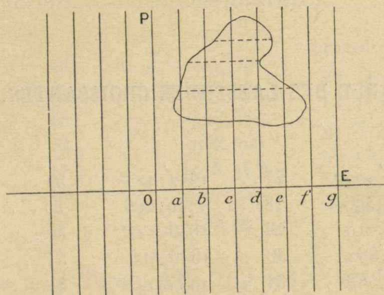


de contact les points O, *a*, *b*, *c*, *d*, ... intersections des méridiens de degré en degré avec l'équateur.

Si nous développons le cylindre (*fig.* 77) en l'ouvrant suivant l'une des génératrices, l'équateur se présentera suivant une ligne droite OE et les intersections des mé-

ridiens donneront des points O, *a*, *b*, *c*, *d*, ... également espacés les uns des autres de la longueur d'un arc d'un degré pris sur l'équateur.

Fig. 77.



Menons par ces points des perpendiculaires à OE et convenons qu'elles représenteront les méridiens. A partir de l'équateur les longueurs parallèles à OE d'une figure tracée sur cette Carte et dont les éléments ont été pris sur la sphère différeront de leurs dimensions réelles et en différeront d'autant plus qu'elles seront plus éloignées de OE, car sur le globe les méridiens vont se couper aux pôles tandis que sur la Carte nous en faisons des lignes parallèles.

En s'appuyant sur cette proposition de Géométrie que les angles sont conservés dans un développement si les dilatations d'un élément infiniment petit pris sur la sphère sont les mêmes dans deux sens perpendiculaires, Mercator en a déduit par le calcul une Table dite des *latitudes croissantes* qui donne les longueurs des latitudes qu'il faut porter en ordonnées sur OP pour que les angles ne soient pas déformés.

Les éléments de ces Tables dépendent de la valeur adoptée pour l'aplatissement. Nous donnons ci-dessous la Table extraite de l'Ouvrage de M. Germain comprenant les valeurs des latitudes croissantes de degré en degré.

TABLE DES LATITUDES CROISSANTES.

0°...	0',000	27°...	1672',923	54°...	3845',738
1...	59,596	28...	1740,206	55...	3948,830
2...	119,210	29...	1808,122	56...	4054,537
3...	178,862	30...	1876,706	57...	4163,027
4...	238,568	31...	1945,992	58...	4274,485
5...	298,348	32...	2016,015	59...	4389,113
6...	358,222	33...	2086,814	60...	4507,133
7...	418,206	34...	2158,428	61...	4268,789
8...	478,321	35...	2230,898	62...	4754,350
9...	538,585	36...	2304,267	63...	4884,117
10...	599,019	37...	2378,581	64...	5018,419
11...	659,641	38...	2453,888	65...	5157,629
12...	720,472	39...	2530,238	66...	5302,164
13...	781,532	40...	2607,683	67...	5452,493
14...	842,842	41...	2686,280	68..	5609,149
15...	904,422	42...	2766,089	69...	5772,739
16...	966,296	43...	2847,171	70...	5943,955
17...	1028,483	44...	2929,594	71...	6123,602
18...	1091,007	45...	3013,427	72..	6312,610
19...	1153,891	46...	3098,747	73...	6512,071
20...	1217,159	47...	3185,634	74...	6723,275
21...	1280,,35	48...	3274,173	75...	6947,761
22...	1344,945	49...	3364,456	76...	7187,387
23...	1409,513	50...	3456,581	77...	7444,428
24...	1474,566	51...	3550,654	78...	7721,700
25...	1540,134	52...	3646,787	79...	8022,758
26...	1606,243	53...	3745,105		

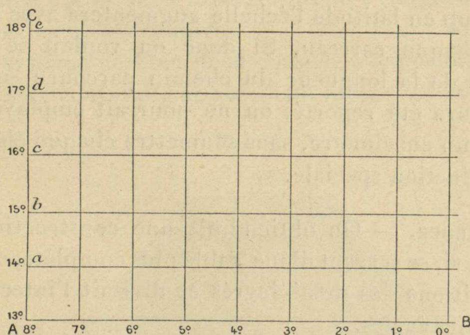
160. Appliquons la construction du canevas de degré en degré à une Carte à l'échelle du $\frac{1}{1000000}$ environ qui s'étend entre 13° et 18° de latitude Nord, entre 8° Ouest et 0° de longitude.

La Table précédente nous fournit :

°	′	Différences.
13.........	781,532	
		61,310
14.........	842,842	
		61,570
15.........	904,422	
		61,874
16.	966,296	
		62,187
17.........	1028,483	
		62,524
18.........	1091,007	
		62,884
19.........	1153,891	

Traçons une ligne AB (*fig.* 78) sur laquelle nous porterons des longueurs égales à $0^m,11$ correspondant

Fig. 78.



à l'échelle du $\frac{1}{1000000}$ au degré d'équateur et élevons aux points marqués des perpendiculaires à AB : ce seront les méridiens.

Divisons l'une de ces longueurs en 60 parties égales, ce qui nous donnera les minutes, puis sur AC perpendiculaire à AB portons des ouvertures de compas, égales : A*a* à 61,31 de ces subdivisions (*voir* le Tableau précédent) *ab* à 61,58 de ces subdivisions, *bc* à 61,87, *cd* à 62,19 et *de* à 62,52. Il restera à mener par ces points *abcde* des perpendiculaires à AC pour représenter les parallèles de 14°, 15°, 16°, 17° et 18° dans le système de Mercator.

Pour compléter le canevas et faciliter le report des positions géographiques observées, on pourra diviser chacun de ces intervalles de degré en 60 parties égales et l'on obtiendra avec une approximation très suffisante les points correspondant aux minutes des diverses latitudes.

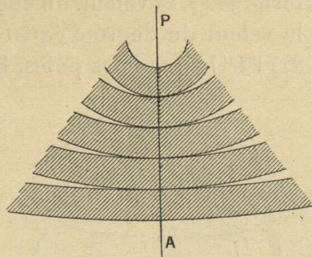
La manière dont la figure a été construite fait reconnaître que si l'on dresse ainsi une Carte et si on l'étend beaucoup en latitude l'échelle augmentera avec celle-ci dans chaque carreau. Si donc on voulait se rendre compte de la longueur du chemin parcouru, une fois qu'il aura été reporté, on ne pourrait employer avec succès un curvimètre, sans soumettre chaque élément à une réduction spéciale.

Remarque. — On obtiendrait une construction plus exacte, si, se servant d'une Table plus complète, on fixait les positions des demi-degrés et divisait l'intervalle en 30 parties égales.

161. Tracé du canevas dans le système de développement de Flamsteed. — Concevons la surface de la sphère terrestre découpée suivant des zones, également

espacées, parallèles à l'équateur (*fig.* 79). Ces zones, leur espacement étant supposé assez petit, peuvent être

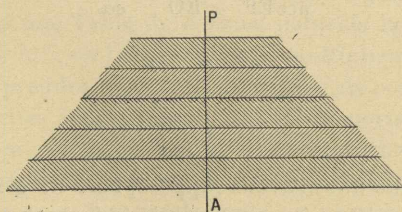
Fig. 79.



assimilées à des troncs de cône. Si donc l'on coupe la sphère suivant la moitié d'un méridien et que l'on ouvre toutes ces zones en les plaçant sur un plan, on obtiendra des bandes qui se toucheront sur la moitié intacte du méridien PA et de là divergeront en s'éloignant de plus en plus les unes des autres.

Le système de Flamsteed consiste à supprimer les solutions de continuité en rectifiant toutes ces bandes per-

Fig. 80.



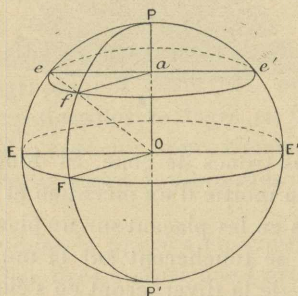
pendiculairement au méridien central (*fig.* 80). Les parallèles seront alors des lignes droites perpendiculaires

à PA et les méridiens des courbes que l'on tracera par points.

Pour déterminer ces courbes, il faudra connaître, à une latitude déterminée l, la valeur du degré de parallèle en fonction de la valeur du degré d'équateur.

Soient (*fig.* 81) PP′ la ligne des pôles, EE′ l'équateur,

Fig. 81.



ee' le cercle de latitude l, PfFP′ un méridien qui fait avec celui de la figure un angle d'un degré.

On peut poser

$$\frac{\text{arc}\, ef}{\text{arc}\,\text{EF}} = \frac{ea}{\text{EO}} = \frac{ea}{eo},$$

or

$$\frac{ea}{eo} = \cos l,$$

donc

$$\text{arc}\, ef = \text{arc}\,\text{EF} \cos l.$$

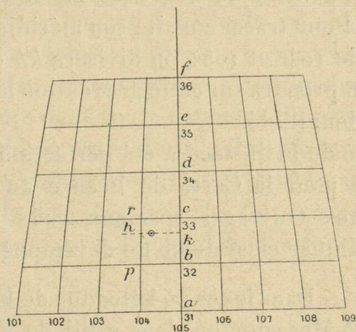
Si, comme nous l'avons supposé, l'arc EF est égal à 1°, l'arc ef sera le cosinus naturel de la latitude.

162. Supposons donc que nous ayons à construire à l'échelle du $\frac{1}{1000000}$ une Carte s'étendant entre les paral-

lèles 31° et 36° de latitude Nord et 101° et 109° de longitude Est.

Le méridien central (*fig.* 82) sera celui de 105° que l'on placera au milieu de la feuille de dessin. A partir

Fig. 82.



du point *a* (*fig.* 82), on portera sur ce méridien des longueurs $ab = bc = cd = \ldots = 0{,}11$ longueur au $\frac{1}{1000000}$ d'un arc de degré d'équateur et l'on chiffrera les points 31°, 32°, . . . , 36° pour ne pas se tromper.

Après avoir divisé *ab* en 100 parties égales on cherchera dans une Table de cosinus naturels la valeur du cosinus de 31°; on trouvera, en le multipliant par 100 : 85,7. On prendra donc une ouverture de compas égale à 85,7 parties de la division *ab*, on la portera 4 fois à droite du méridien central et 4 fois à gauche sur le parallèle chiffré 31°. On fera de même pour la ligne supérieure marquée 32° sur laquelle on portera autant de fois que précédemment la longueur de 84,8 parties de l'échelle *ab* qui répond au cosinus naturel de 32° et ainsi de suite jusqu'au parallèle de 36°.

Les points correspondants seront ensuite réunis par un trait continu et l'on aura tracé le canevas.

Pour reporter un point déterminé astronomiquement, situé, par exemple, dans le quadrilatère curviligne *bcrp*, on tracera d'abord facilement son cercle de latitude au moyen d'une échelle de degré de méridien divisée en 60 minutes. Pour tracer ensuite son méridien qui tombe entre ceux de 104° et 105°, on divisera *kh* en 60 parties égales et l'on prendra sur cette graduation la division qui répond à la longitude.

Le procédé de Flamsteed a été perfectionné par le colonel Bonne pour la Carte de France au $\frac{1}{80000}$; nous renvoyons aux Ouvrages spéciaux ceux qui seraient tentés d'appliquer ce système de développement.

Remarque. — Dans le cas où l'étendue de la Carte, dans le système de Mercator ou dans celui de Flamsteed, se trouve trop grande pour être contenue dans une seule feuille, on la subdivisera en carrés ou en rectangles de dimensions égales et convenables. Le tracé du canevas n'est pas plus difficile sur ces feuilles séparées que l'on raccordera suivant des méridiens et des parallèles.

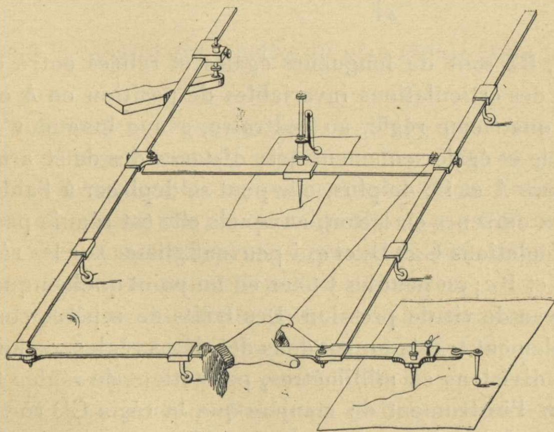
Nous avons supposé l'échelle de $\frac{1}{1000000}$ pour faciliter les explications. Dans le cas du $\frac{1}{100000}$ au lieu de prendre des longueurs de 1° de longitude à l'équateur qui seraient trop grandes, on prend des longueurs de 10 minutes par exemple et on trace les parallèles de 10 en 10 minutes. La longueur de 10 minutes de latitude s'obtient évidemment en divisant la longueur de 1° par 6.

§ II. — REMPLISSAGE DU CANEVAS.

163. Réduction des croquis à l'échelle de la Carte. Pantographe. — Les Cartes exécutées en fin d'expédition se dessinent généralement à l'échelle du $\frac{1}{100000}$ ou tout au moins à une échelle qui s'en rapproche, car nous avons vu que les développements ne donnent pas une échelle constante dans toute l'étendue du canevas.

Or les itinéraires entre deux points fixés par des observations astronomiques ont été reportés en cours de route à l'échelle du $\frac{1}{50000}$; pour les faire cadrer entre les deux points placés sur la Carte, il faudra donc en réduire

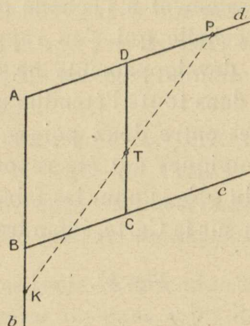
Fig. 83.



les dimensions. On se servira pour cela du pantographe (*fig.* 83).

164. Le pantographe, dont nous donnons la description sans en faire la théorie, se compose essentiellement (*fig.* 84) de quatre règles rigides formant un parallélogramme articulé ABCD. Trois de ces règles A*b*,

Fig. 84.



A*d*, B*e* sont de longueurs égales et reliées entre elles par des articulations invariables de position en A et B. La quatrième règle, au contraire, a une longueur plus faible et égale seulement à la distance des deux articulations A et B; de plus, elle peut se déplacer à l'aide de deux curseurs en laiton, auxquels elle est réunie par les articulations C et D, et qui peuvent glisser sur les règles A*d* et B*c*; on peut les y fixer en un point quelconque au moyen de vis de pression. Des traits de repère, convenablement tracés sur ces deux dernières règles, ou mieux des divisions en millimètres, permettent de régler toujours l'instrument de manière que la règle CD soit parallèle à AB. La règle A*d* est évidée en un point P et reçoit un pivot lié à une masse pesante en fonte, garnie de pointes à sa partie inférieure, que l'on enfonce dans

la table pour l'empêcher de se déplacer. C'est autour de ce centre fixe P que l'instrument peut osciller.

En un point K marqué par un trait de repère, et tellement placé que la longueur AK soit égale à AP, la réglette A*b* peut recevoir un curseur muni d'une oreille évidée dans laquelle vient se loger une pointe en acier ou calquoir, avec laquelle on suit tout les traits du dessin à réduire. Enfin, le long de la règle CD, peut se déplacer un dernier curseur à oreille évidée que l'on peut fixer par une vis de pression et qui porte un crayon ou traçoir T qui doit dessiner la réduction de l'échelle voulue. Il suffit pour cela que la règle CD et le crayon T aient été fixés dans des positions telles que l'on ait

$$\frac{AP}{DP} = \frac{AK}{DT} = \frac{m}{n},$$

$\frac{m}{n}$ étant le rapport des échelles du plan réduit et du plan à réduire.

Des roulettes en ivoire, dont la chape peut tourner autour d'un axe vertical, supportent les règles de place en place et rendent les mouvements plus doux. Enfin un fil de soie va du crayon au calquoir et, par l'intermédiaire d'un système de poulies, permet au dessinateur de relever le crayon quand il ne doit pas tracer.

La condition essentielle pour la réduction exacte au pantographe c'est que, lorsqu'il est préparé pour un rapport quelconque, les trois points K, T, P restent exactement en ligne droite quelles que soient les positions qu'il prend autour de son pivot.

On ne peut compter sur la précision convenable qu'avec un instrument entièrement métallique; il faut

donc rejeter absolument les pantographes en bois. Il faut en outre que la réduction s'opère sur une table bien plane et horizontale.

165. Usage du pantographe. — Il faut d'abord régler le pantographe pour la réduction que l'on veut faire, c'est-à-dire établir les différentes pièces dans le rapport voulu. Supposons, par exemple, que les grandes règles du pantographe aient 70^{cm} de longueur. Les règles Ad et Bc sont divisées en millimètres à partir de deux points chiffrés zéro et situés exactement à 700^{mm} des articulations A et B. La règle DC qui n'a que 60^{cm} de longueur, comme AB, est elle-même divisée en millimètres chiffrés à partir de D. Enfin le curseur K est aussi placé à 700^{mm} de A, en un trait de repère tracé sur Ab.

D'après la théorie de l'instrument, il s'agit de passer de l'échelle $\frac{1}{50000}$ à celle du $\frac{1}{100000}$; nous devons avoir

$$\frac{AP}{DP} = \frac{AK}{DT} = \frac{m}{n} = \frac{100\,000}{50\,000},$$

d'où l'on tire

$$DP = DT = \frac{n}{m} \times AP = \frac{1}{2} \times 0{,}700 = 0^{m},350.$$

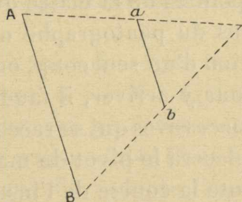
On fixera donc d'abord la règle DC de telle sorte que les curseurs correspondent aux traits chiffrés $0^{m},350$ sur les règles Ad et Bc, puis le curseur du crayon T, également au trait $0^{m},350$ de la graduation faite sur DC. Le pantographe est alors réglé exactement pour le rapport des deux échelles $\frac{1}{50000}$ et $\frac{1}{100000}$.

Mais ce n'est là, dans le cas qui nous occupe, qu'une première approximation dont le résultat est rarement

définitif. Tout d'abord, nous avons dit que l'échelle de la Carte n'est pas le $\frac{1}{100000}$ dans toutes ses parties, puisque les croquis comportent des erreurs d'angles et de longueurs qui font que l'échelle du $\frac{1}{50000}$ à laquelle ils sont rapportés n'est qu'approchée.

Partant de là, soient (*fig.* 85) *a* et *b* les deux points observés reportés sur la Carte, A et B les deux points

Fig. 85.



observés sur les croquis; recherchons, en admettant que *ab* soit rigoureusement à l'échelle du $\frac{1}{100000}$, quelle est l'échelle correspondante de AB.

Mesurons au double décimètre très exactement les longueurs *ab* et AB; supposons la première égale à $0^m,4253$ et la seconde à $0^m,8629$; cela revient à dire que 42530^m sont représentés par $862^{mm},9$. L'échelle des croquis sera donc $\frac{1}{\frac{42530^m}{862^{mm},9}} = \frac{1}{49287}$, c'est-à-dire qu'entre les points A et B elle est $\frac{1}{49287}$ au lieu de $\frac{1}{50000}$.

Les curseurs devront donc être placés aux divisions déterminées par la formule

$$DP = DT = \frac{49287}{100000} \times 0,700 = 0^m,345.$$

Le pantographe est alors définitivement réglé pour opérer la réduction entre les points A et B. Il restera à l'installer pour le report. A cet effet, on placera bien parallèlement les lignes AB et *ab*, à une distance convenable, le pivot du pantographe à peu près au point de rencontre des lignes A*a* et B*b*, puis le traçoir sur le point A. On amènera, par de petits déplacements du pivot, le calquoir à coïncider avec le point *a* et, quand cette condition sera réalisée, on enfoncera solidement dans la table les pointes de la masse du pivot.

Si les dimensions du pantographe ne permettent pas de faire la réduction d'un seul coup, ou bien si le dessin est trop étendu pour y arriver, il faudra faire la réduction par parties successives qui se raccordent entre elles. Pour cela on déplacera le pivot de manière à utiliser à chaque station toute la course de l'instrument.

On appliquera la méthode que nous venons d'exposer successivement à tous les intervalles compris entre des points déterminés astronomiquement.

166. Qu'il s'agisse d'itinéraires ou de cours d'eau le procédé s'applique sans modification.

Il n'en est plus de même lorsque l'on a affaire à un lever de détails. L'échelle à laquelle a été reportée la triangulation est une échelle bien déterminée dont le rapport à celle de la Carte ne peut donner lieu à ambiguïté. Ce rapport est connu et l'on n'a pas à tâtonner pour préparer le pantographe.

Pour placer la feuille de détails dans la direction voulue, on se servira de l'azimut qui a été observé et a permis d'orienter le dessin. On établira alors bien parallèlement entre elles les directions qui représentent le

Nord vrai sur les deux Cartes, et la réduction s'opérera en appliquant les principes décrits.

167. Tracé des courbes de niveau. — Lorsque dans les croquis ou dans le report d'un lever de détails on a marqué les cotes des divers points, non seulement sur la route suivie mais encore dans les environs, on exprimera les formes du terrain au moyen de courbes de niveau, c'est-à-dire des intersections du sol avec des surfaces de niveau également espacées dans le sens vertical.

Il ne peut être donné de règles fixes pour l'équidistance à adopter, car, à échelles égales, la même équidistance ne convient pas généralement à deux Cartes et dépend du terrain qu'on a levé. Pour fixer les idées à ce sujet, supposons que l'on adopte l'équidistance de 50^{m} pour les Cartes au $\frac{1}{100000}$. Dans un pays très accidenté comme les Alpes, en admettant le maximum de pente égal à 45°, la distance entre les projections des courbes de niveau peut être de $0^{mm},5$; non seulement le tracé de ces courbes deviendrait difficile, mais encore elles couvriraient tellement le dessin qu'on ne pourrait plus y inscrire d'autres renseignements ; il faudrait donc, pour la clarté de la Carte, adopter des surfaces de niveau à écartement plus grand. Au contraire, dans un pays très peu accidenté, à longues ondulations, l'équidistance de 50^{m} peut ne plus rendre compte du tout des mouvements du terrain; il faudrait alors adopter des surfaces de niveau distantes de 25, 20, 10 et même 5^{m}, suivant le cas, pour obtenir une représentation suffisante de la forme du pays.

Pour pouvoir, à première inspection, se rendre compte

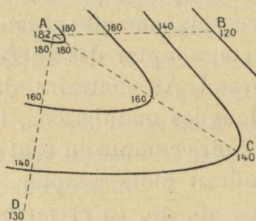
des positions relatives en hauteur du chemin parcouru, il importe que l'équidistance soit la même dans toute l'étendue de la Carte. Il en résulte que, dans le travail final de rédaction, on devra choisir l'équidistance de manière qu'elle satisfasse aux meilleures conditions de représentation du terrain particulier des levers.

En ce qui concerne les croquis, on adoptera pour chacun d'eux l'équidistance qui lui convient, quitte à supprimer ensuite les courbes qui ne correspondraient pas à l'équidistance adoptée pour la Carte générale, ou à les construire si elles ne figuraient pas sur ces croquis.

168. Pour construire les courbes de niveau ou les filer, comme l'on dit, on se servira de tous les points du nivellement que l'on a obtenu dans les environs, et l'on ne se fera pas faute de les prolonger un peu en usant des souvenirs que l'on a conservés des formes du terrain. C'est pour cette raison surtout que nous avons préconisé les reports des croquis à l'arrivée à l'étape.

Supposons (*fig*. 86) qu'entre les points A, B, C, D on

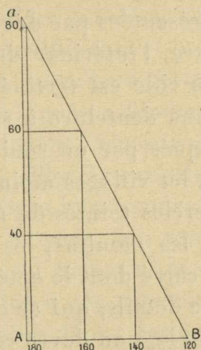
Fig. 86.



veuille intercaler les courbes de niveau de 140, 160 et 180^{m}.

Sur le bord inférieur d'une feuille de papier quadrillé (*fig.* 87), portons la longueur AB et en ordonnées au point A, qui est le plus élevé, la différence des cotes

Fig. 87.



182 — 120 = 62 divisions ; traçons AB, et par les points 40, 60, 80 menons des parallèles à AB, dont nous projetterons les intersections sur cette même ligne AB. Nous obtiendrons ainsi les projections des courbes de niveau 140, 160, 180, qu'il suffira de reporter sur la Carte, en les numérotant pour ne pas être exposé à se tromper. Opérons de même pour les lignes AC et AD, nous aurons de nouveaux points que l'on pourra finalement relier par des lignes continues, comme il est montré sur la figure.

169. Cette manière de faire, pour donner des résultats appréciables, suppose que l'opérateur, lorsqu'il prend les cotes soit au baromètre, soit au clisimètre, possède le *sentiment du terrain*, c'est-à-dire qu'il fait des visées ou lit le baromètre aux points seulement qui peuvent le

mieux aider à la représentation des formes du terrain et non pas en des points pris absolument au hasard.

170. De la manière de représenter sur la Carte les particularités géographiques. — Sur la Carte générale, les villes seront représentées par deux cercles de 2^{mm} et de $2^{mm},5$ de diamètre, l'intérieur du petit cercle sera teinté en noir. Si la ville est fortifiée, on entourera le cercle extérieur d'une dentelure à six dents. Les gros villages seront indiqués par un seul petit cercle teinté de 2^{mm} de diamètre ; les villages moins importants et les hameaux par des cercles teintés de $1^{mm},5$. Les maisons isolées, les fermes, les moulins, les factoreries seront figurés par un petit carré dont le côté atteindra 1^{mm}.

Dans les Cartes de détails, qui se dessinent généralement à l'échelle du $\frac{1}{10000}$, on devra représenter en leurs formes vraies toutes les particularités précédentes.

On tracera en bleu de Prusse foncé le rivage de la mer, les bords des fleuves, des rivières, des lacs, des étangs et des îles. Les surfaces occupées par les lacs et les étangs seront teintées au pinceau avec un bleu très pâle, et l'on fera de même pour les rivières lorsqu'elles présenteront une largeur appréciable sur le dessin.

La mer sera amorcée sur 3^{cm} environ par une teinte bleue fondue et d'une intensité assez forte.

Les marais se passent au bleu très pâle, et sur des lignes horizontales on dessine avec la plume à l'encre verte de petits bouquets de joncs placés en quinconce.

Les surfaces occupées par les bois, les prairies, lorsqu'on s'est donné la peine de les relever dans les dessins de détails, sont recouvertes de teintes claires de vert-bois ou vert-pré.

Enfin, les itinéraires sont tracés au carmin et les courbes de niveau en terre de Sienne brûlée.

171. Écritures de la Carte. Tableau des positions géographiques observées. — On n'emploie pour les Cartes que les écritures dites *moulées,* à pleins et déliés. Elles sont de cinq genres différents et le genre et la dimension des écritures sont, jusqu'à un certain point, conventionnels, mais proportionnés à l'importance des particularités qu'elles désignent. Ainsi la « capitale droite » est employée pour les villes, la « capitale penchée » pour les bourgs et les villages importants, la « romaine droite » les villages moyens, la « romaine penchée » pour les petits villages ou hameaux et « l'italique » pour les objets isolés. Grâce à ces conventions, complétées par les figures dont nous avons parlé plus haut, on peut se dispenser d'accompagner le nom propre d'un groupe d'habitations du nom commun qui indique son importance.

La grandeur des lettres et leur genre devront aussi donner une idée de l'importance relative des cours d'eau, lacs, étangs, etc.

La disposition des écritures sur le dessin a une importance qui n'est pas négligeable pour la clarté de la Carte. Pour les particularités isolées, les écritures sont parallèles au bord inférieur du cadre, situées autant que possible à droite et aussi serrées que possible.

De même, les cotes, dont les chiffres doivent être régulièrement dessinés et plus ou moins gros suivant l'échelle, sont inscrites toutes parallèlement au bord inférieur du cadre. Les cotes isolées s'écrivent en noir à côté d'un petit point noir qui désigne leur emplace-

ment; les cotes appartenant aux sections horizontales s'écrivent en terre de Sienne brûlée près des courbes et plus particulièrement aux endroits où elles changent de direction.

Les écritures qui désignent les voies de communication se placent en dehors de ces voies et parallèlement à leur direction, en ayant soin d'espacer les mots dans toute l'étendue que ces lignes occupent sur la Carte, mais sans espaces les lettres des mots.

Les noms des rivières s'inscrivent en bleu soit entre les rives, soit en dehors, suivant que leur largeur est plus ou moins grande que le double de la hauteur des lettres.

Dans l'un et l'autre cas, on espace les mots, sans espacer les lettres et l'on n'a pas égard au sens du courant pour le sens des écritures. On fait seulement en sorte que les écritures ne soient pas renversées et l'on indique le sens du courant par une flèche.

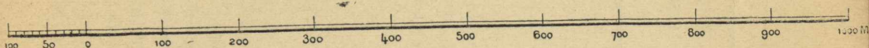
Pour les surfaces allongées, les bois, les lacs, les étangs, les marais, les îles, etc., on écrit suivant des lignes droites ou courbes dans le sens de la plus grande dimension et l'on espace les lettres et les mots à proportion, de manière que la désignation s'étende sur la plus grande partie de la surface. Quelquefois aussi on écrit la désignation sur plusieurs lignes parallèles au bord inférieur du cadre; cela dépend de la forme de la surface.

En règle générale, on doit pouvoir lire toutes les écritures lorsqu'on tient le dessin devant soi, le titre en haut, sans être obligé de le retourner.

Nous donnons ci-après les modèles de signes et d'écritures.

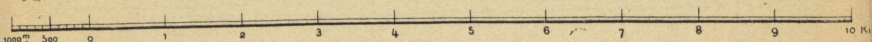
172. Chaque Carte de détail doit être accompagnée d'un titre et d'une échelle (*fig.* 88). Si dans la Carte

Fig. 88.



générale le développement ne donne pas de déformation sensible, on y joint aussi une échelle (*fig.* 89). Si le report a été fait dans le système de Mercator, on divise

Fig. 89.



généralement, sur le cadre, chaque arc de méridien et de parallèle en fractions de degré. Cette construction toutefois n'a pas autant d'importance en Géodésie qu'en Navigation.

173. Enfin il est bon de réserver l'un des coins de la Carte pour y construire un Tableau que l'on intitule : *Positions géographiques observées*, dans lequel on inscrit les noms des stations astronomiques, leur longitude et leur latitude.

PARTICULARITÉS à représenter.	DESSIN.	TEINTES.	ÉCRITURES.	OBSERVATIONS.
Ville importante. . .		noir	SAIGON	
Ville importante fortifiée		noir	VERDUN	
Ville moins importante. . . . . Gros village.		noir	*LANGSON*, Loango	
Ville moins importante fortifiée. . . .		noir	*DAKAR*	
Village ou hameau. .		noir	*Massabe*	
Maison isolée.		noir	*Factorerie française*	
Marais.		bleu pâle, les herbes en vert	*Marais de Loutissi*	
Bois.		vert-bois	*Bois de Boukouli*	
Prairies		vert-pré		
Rivage de la mer, d'un lac ou d'un étang.		trait bleu foncé	OCÉAN INDIEN *LAC TCHAD* *Lac Cayo*	Le rivage de la mer est bordé d'une teinte bleue fondue de 3^cm^. La surface des lacs, étangs, rivières, est passée au bleu très pâle.
Rives des fleuves, rivières, etc.		traits bleu foncé	CONGO, *LUALI* *Miaka*	
Routes levées par itinéraires (1). . . .		carmin		
Route ou sentier non parcouru		noir	*Route de . . . à . . .*	La grosseur du trait est proportionnelle à l'importance.
Courbes de niveau. .		terre de Sienne brûlée		
Cotes isolées.		noir	153	
Cotes des courbes de niveau.		terre de Sienne brûlée	246	

(1) Sur le modèle page 74 on les a tracées en ligne de croix, pour éviter l'emploi des couleurs.

CHAPITRE V.

INSTRUMENTS NÉCESSAIRES A L'EXPLORATEUR EN COURS DE ROUTE. — LEUR CHOIX. — LEUR TRANSPORT.

Nomenclature des instruments et des fournitures. — Les instruments dont l'explorateur aura à faire usage pour appliquer les méthodes que nous avons exposées dans le courant de cet Ouvrage sont les suivants :

LEVERS RAPIDES.	Travail en marche.	1. Une *boussole-éclimètre* (en emporter au moins deux).
		2. Un *baromètre anéroïde* (en emporter au moins deux).
		3. Un *compte-pas* (en emporter plusieurs).
		4. Une *montre* de poche indiquant les *secondes*.
		5. Un *compas* de relèvement (pour les levers de cours d'eau).
		6. Une *chaîne* d'arpenteur ou *ruban* d'acier et ses *fiches*.
		7. Une *ligne* de sonde et un *plomb*.
		8. Une *jumelle*.
	Rédaction provisoire.	9. Un *rapporteur* du modèle décrit.
		10. Des *équerres*.
		11. Des *crayons* rouges, bleus et noirs.
		12. Un *double-décimètre*.
		13. Une *boîte* de *compas*.
		14. Des *carnets* de levers tracés d'après les modèles donnés.
		15. Des *blocs* quadrillés aux dimensions de 0,25 sur 0,30.
		16. Du *papier* quadrillé ordinaire.

OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES.

17. Un *théodolite* et son *pied*.
18. Un *parasol* dit d'opérateur.
19. Une *lanterne* pour les observations de nuit.
20. Deux *chronomètres* et une *montre*, ou trois *montres*.
21. Un *thermomètre* (en emporter au moins deux en étuis).
22. Des *carnets* pour inscrire les observations et d'autres pour les calculer.

Il faudra joindre à ces instruments et fournitures une *Connaissance des Temps* de l'année et une *Table de logarithmes* à cinq décimales.

Si l'exploration doit se prolonger l'année suivante, on devra se procurer avant le départ une seconde *Connaissance des Temps* relative à cette nouvelle période annuelle. Quant à la *Table de logarithmes* à cinq décimales, bien suffisante pour les calculs de rédaction provisoire, on pourra choisir celles de J. Hoüel qui comprennent des Tableaux de formules usuelles que l'on peut avoir à appliquer dans nombre de calculs.

Choix des instruments. — Les constructeurs d'instruments scientifiques fournissent tous les instruments de mesure des longueurs et des angles.

Nous n'avons que peu de choses à dire sur ceux que l'on emploie dans les levers rapides ; on devra les choisir tels que nous les avons décrits et les expérimenter avant de les acquérir pour s'assurer de leur bonne qualité qui, généralement, est proportionnelle à leur prix.

Le compas de relèvement, en particulier, devra être

conforme au modèle adopté dans la Marine. On s'adressera au Service hydrographique pour renseignements, dans le cas où l'on serait embarrassé.

Les jumelles seront surtout légères et choisies par l'explorateur lui-même.

Quant aux fournitures on devra les prendre chez des fabricants d'articles de bureau qui livreront les carnets suivant modèles.

La montre qui sert dans les levers rapides doit être aussi bonne que possible, sans toutefois être tenue de réunir les qualités de celles qui sont employées au transport du temps. Les montres de ce genre, qui portent une grande aiguille des secondes parcourant le grand cadran et qui sont dites *à secondes indépendantes*, sont généralement préférées, car la lecture en est plus facile.

Les horlogers donnent souvent, pour une montre de cette espèce, qu'ils appellent *chronographe*, un Tableau des marches déduit des comparaisons faites dans des observatoires spéciaux. On pourra, au moment de l'achat, se baser sur ce Tableau pour avoir une idée de la valeur; mais il ne faut pas oublier que les marches d'une montre portée diffèrent souvent beaucoup de celle au repos; on l'essayera donc avant de l'acquérir et, pendant le voyage, on la comparera fréquemment aux montres qui servent aux observations astronomiques. Pour les levers rapides on ne devra jamais employer une de ces dernières.

Les montres qui doivent servir au transport du temps seront, avons-nous dit, des chronomètres ou des montres dites *de torpilleurs*. On choisira les modèles adoptés par la Marine.

Chaque année le Service hydrographique fait un concours entre les instruments sortant de chez les meilleurs artistes. Ces instruments sont classés par ordre de valeur, après avoir été soumis à diverses épreuves pendant un certain temps. L'État se rend acquéreur des premiers numéros, mais ceux qui restent peuvent encore être utilisés pour les voyages scientifiques, d'autant plus qu'il n'est nullement démontré qu'une montre qui, au repos, a donné de meilleurs résultats qu'une autre, se placera dans les mêmes conditions relatives de valeur quand on la transporte.

On se fera donc présenter par les fabricants le Tableau dressé par le Service hydrographique et l'on basera son choix sur les résultats qui y sont portés.

Il faudra avoir au moins deux chronomètres et une montre, ou bien, à défaut de chronomètres, trois montres.

Le thermomètre sera du modèle ordinaire. Il sera prudent d'en emporter deux ou trois renfermés dans des étuis en fer-blanc, dont l'intérieur est tapissé de feutre qui amortira les chocs.

Le théodolite, si l'on en a le choix, devra comporter une lunette excentrique; nous en avons donné les raisons. Dans tous les cas, cette lunette sera à fort grossissement. Les visées des signaux naturels dans les opérations de triangulation seront d'autant plus précises que le grossissement sera plus fort.

Les graduations des cercles horizontal et vertical doivent permettre la lecture des 10″ à l'aide des verniers.

On a pu voir, au cours de notre exposé, que nous

n'avons pas parlé de la classification ordinaire de ces instruments en théodolites réitérateurs et théodolites répétiteurs. C'est que nos procédés ne font nullement intervenir les méthodes de la réitération et de la répétition que l'on emploie seulement dans les opérations géodésiques de premier ordre.

Le niveau du cercle vertical ou grand niveau devra, nous l'avons dit, porter une graduation allant en croissant d'un bout à l'autre de la fiole. Si cette condition n'est pas remplie, il faudra en requérir le changement, et, si cela n'est pas possible, coller une bandelette de papier sur l'un des côtés après l'avoir divisée et chiffrée.

Pour ne pas avoir d'ennuis avec le *réticule*, il faut proscrire l'emploi de fils d'araignée qu'il est très difficile de remplacer lorsqu'ils se sont déformés par l'humidité ou cassés parfois sous la seule influence du vent quand l'on change ou que l'on nettoie l'oculaire. On adoptera le réticule formé de deux traits gravés sur une mince plaque de verre, et l'on pourra au besoin s'en approvisionner d'un ou deux de rechange.

On s'habituera au maniement de l'instrument en faisant quelques observations préalables.

Ces mêmes observations préliminaires permettront de se rendre compte du fonctionnement du système d'éclairage des fils pour les travaux de nuit. Certains constructeurs livrent des systèmes de leur invention, mais il y en a fort peu qui répondent aux conditions exigées dans la pratique. En général, les lampes ne sont pas protégées et s'éteignent au moindre vent. Nous signalerons encore

un défaut capital de la plupart de ces systèmes ; il provient de la position trop rapprochée qu'occupe la lampe par rapport à l'un des tourillons. La chaleur qui se dégage produit alors une dilatation de cet organe entraînant une dénivellation de l'axe horizontal de la lunette.

Toutes ces constatations faites, avant de procéder à l'achat, on demandera au fabricant les renseignements utiles sur le mode de construction qu'il a adopté pour les divers organes, de manière à remédier au besoin aux avaries qui pourraient se produire en cours de route.

La boîte dans laquelle est renfermé l'instrument doit être suffisamment solide ; les taquets, entretoises, etc., qui permettent d'y fixer le théodolite dans une position invariable, doivent être vissés et non pas seulement collés ; de plus, ils ne doivent pouvoir toucher aucun organe délicat.

Il est nécessaire de trouver dans la boîte toutes les clefs des différentes vis, une loupe, l'oculaire coudé ou le prisme, un tourne-vis et un fil à plomb.

Le pied du théodolite offrira toutes les garanties de solidité et il est commode de le choisir avec un plateau supérieur qui peut subir des mouvements de translation et de rotation combinés, indépendants du mouvement général ; cela facilite beaucoup la mise en station dans les opérations de triangulation. Il faudra enfin, dans tous les cas, s'assurer que l'instrument peut être fixé solidement sur son pied et qu'il n'y a pas de jeu dans les vis de liaison.

Transport des instruments. — Nous avons dit comment on transporte les instruments de levers rapides :

nous ne donnerons donc que quelques conseils relatifs aux montres et au théodolite.

Les chronomètres et les montres devront, en cours de transport, être soustraits, non seulement à tout choc ou déplacement brusque, mais encore à tout mouvement de rotation systématique. On leur évitera aussi, autant que possible, toute élévation anormale de température et toute humidité. Il faudra donc, à cet égard, accumuler les précautions les plus minutieuses.

On a obtenu de bons résultats pour les montres de torpilleurs en les renfermant dans un écrin fait d'une boîte en acajou, à couvercle et fermant à clef. Le fond, à base carrée, mesure environ $0^{m},25$ de côté, la hauteur totale 7^{cm} ou 8^{cm}. L'intérieur est soigneusement capitonné et porte trois logements circulaires dans lesquels les montres sont placées et ne peuvent plus bouger, le couvercle une fois rabattu.

Une lanière de cuir, formée de deux brins réunis au moyen d'une boucle sert de poignée à la boîte. On la confie à un homme soigneux que l'on surveille ou fait surveiller et on la garantit le plus possible des rayons du Soleil.

Lorsque l'on a affaire à deux chronomètres et à une montre, un système analogue peut être employé; la boîte seulement est de plus grande dimension et l'on y ajoute un thermomètre.

Si, en arrivant à l'étape, on a soin de mettre la boîte à l'ombre et de ne l'ouvrir que pour le temps des comparaisons et pour prendre la montre qui sert de comp-

teur, on n'aura que peu à craindre de variations anormales de température pendant la route.

En ce qui concerne le théodolite, il faudra le soustraire aux chocs et au renversement complet de la boîte qui le contient. Le plus souvent on sera obligé d'accorder les précautions à prendre avec le mode habituel de portage des hommes que l'on emploie.

On peut encore, comme nous l'avons vu faire, renfermer la boîte qui contient l'instrument dans une gaine en cuir munie de bretelles ; non seulement le transport est alors plus facile, mais on a encore l'avantage de garantir de la pluie la boîte et son contenu.



FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE III.

LEVERS DE DÉTAILS.

CHAPITRE IV.

RÉDACTION DE LA CARTE.

CHAPITRE V.

INSTRUMENTS NÉCESSAIRES A L'EXPLORATEUR EN COURS DE ROUTE. — LEUR CHOIX. — LEUR TRANSPORT.



FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

25662 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, 55, quai des Grands Augustins.

LES MÉTHODES NOUVELLES
DE LA
MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par H. POINCARÉ,
Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques 1892.......... **12** fr.

TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gyldén, Lindstedt et Bohlin ; 1894. **14** fr.

TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques.......... **13** fr.

LEÇONS
SUR LA
THÉORIE DES MARÉES,
PROFESSÉES AU COLLÈGE DE FRANCE

Par Maurice LÉVY,
Membre de l'Institut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Professeur au Collège de France.

DEUX BEAUX VOLUMES IN-4, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

Ire PARTIE : Théories élémentaires. Formules pratiques de la prévision des marées, avec figures ; 1898.......... **14** fr.

IIe PARTIE : Théorie de Laplace. Marées terrestres.......... (*En préparation.*)

LEÇONS NOUVELLES
D'ANALYSE INFINITÉSIMALE
ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par M. MÉRAY,
Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

(Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.)

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

Ire PARTIE : Principes généraux ; 1894.......... **13** fr.

IIe PARTIE : Étude monographique des principales fonctions d'une variable ; 1895.......... **14** fr.

IIIe PARTIE : Questions analytiques classiques ; 1897.......... **6** fr.

IVe PARTIE : Applications géométriques classiques ; 1898.......... **7** fr.

COMPOSITIONS D'ANALYSE

CINÉMATIQUE, MÉCANIQUE ET ASTRONOMIE

données depuis 1869 à la Sorbonne pour la Licence ès Sciences mathématiques.

ÉNONCÉS ET SOLUTIONS,

Par E. VILLIÉ,

Ancien Ingénieur des Mines, Docteur ès Sciences,
Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

3 VOLUMES IN-8 AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

Ire PARTIE : Compositions données depuis 1869. In-8; 1885........... **9 fr.**
IIe PARTIE : Compositions données depuis 1885. In-8; 1890........... **8 fr. 50 c.**
IIIe PARTIE : Compositions données depuis 1889. In-8; 1898........... **8 fr.**

COURS DE GÉOMÉTRIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

LEÇONS SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE DES

SURFACES

ET LES

APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DU CALCUL INFINITÉSIMAL

Par G. DARBOUX,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

4 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

Ire PARTIE : Généralités. Coordonnées curvilignes. Surfaces minima; 1887.. **15 fr.**

IIe PARTIE : Les congruences et les équations linéaires aux dérivées partielles. Des lignes tracées sur les surfaces; 1889.......... **15 fr.**

IIIe PARTIE : Lignes géodésiques et courbure géodésique. — Paramètres différentiels. — Déformation des surfaces; 1894.......... **15 fr.**

IVe PARTIE : Déformation infiniment petite et représentation sphérique; 1896. **15 fr.**

LEÇONS SUR LES

SYSTÈMES ORTHOGONAUX

ET LES COORDONNÉES CURVILIGNES,

Par G. DARBOUX,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de VI-338 pages; 1898.......... **10 fr.**
TOME II.......... (*Sous presse.*)

TOME IV (2e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures.......... 8 fr.

4e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du **Cours de Physique**. In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1er SUPPLÉMENT. — **Chaleur. Acoustique. Optique**, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES

PAR

Jules TANNERY, Sous-Directeur des Études scientifiques à l'École Normale supérieure,

Jules MOLK, Professeur à l'Université de Nancy.

QUATRE VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : Introduction. Calcul différentiel (Ire Partie); 1893........ 7 fr. 50 c.
TOME II : Calcul différentiel (IIe Partie); 1896.................... 9 fr. »
TOME III : Calcul intégral (Ire Partie); 1898........................ 8 fr. 50 c.
TOME IV : Calcul intégral (IIe Partie) et Applications............ (*Sous presse.*)

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par M. Eric GÉRARD, Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore.

5e ÉDITION, REFONDUE ET COMPLÉTÉE.

TOME I : Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, avec 381 figures; 1897.......................... 12 fr.

TOME II : Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la télégraphie et à la téléphonie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage et à la métallurgie. Avec 378 figures; 1898.......................... 12 fr.

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS
ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE MACHINES A VAPEUR DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,
Ingénieur de la Marine,
Ex-Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

Camille ROCHE,
Industriel,
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique théorique et applications. La machine à vapeur et les métaux qui y sont employés. Puissance des machines, diagrammes indicateurs. Freins. Dynamomètres. Calcul et dispositions des organes d'une machine à vapeur. Régulation, épures de détente et de régulation. Théorie des mécanismes de distribution, détente et changement de marche. Condensation, alimentation. Pompes de service. — Volume de XI-604 pages, avec 412 figures; 1895 .... **20** fr.

TOME II : Forces d'inertie. Moments moteurs. Volants régulateurs. Description et classification des machines. Machines marines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints et presse-étoupes. Montage des machines et essais des moteurs. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction. Servo-moteurs. Tables numériques. — Volume de IV-560 pages, avec 281 figures; 1895...... **18** fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,
Ingénieur principal du Service central de la Compagnie du Midi.

A. PULIN,
Ingénieur, Inspecteur principal de l'Atelier central des chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, XXII-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E.I.). **15** fr.

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX,
Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E.I.) .... **20** fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par M. C. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII-634 pages avec 326 figures; 1894.. **20** fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894..... **20** fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par M. J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. **20** FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par M. J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894.................................. **20** fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferrements des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894.. **20** fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par M. Al. GOUILLY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... **12** FR.

RÉSUMÉ DU COURS
DE
MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Par M. HIRSCH,
Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

DEUXIÈME ÉDITION.

Un volume grand in-8 de 510 pages avec 314 fig. (E. T. P.)... 18 fr.

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par Henri DE LAPPARENT,
Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533 PAGES, AVEC 111 FIGURES ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)............................ **12** FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par M. A. JOANNIS,
Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones. Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896.............. **20** fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides. Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métalliques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires. Volume de 718 pages, avec figures; 1896.............................. **15** fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par H. LORENZ,
Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR.

PAR

P. PETIT,
Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy,
Directeur de l'Ecole de Brasserie.

J. JAQUET,
Ingénieur civil,

Un volume de IX-186 pages, avec 131 figures; 1898.......... **7** fr

LES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES AU CHARBON,

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.
(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE.)
Par R. COLSON, Capitaine du Génie, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8; 1898........ 2 fr. 75 c.

IMPRESSION DES ÉPREUVES SUR PAPIERS DIVERS

PAR NOIRCISSEMENT DIRECT,
PAR IMPRESSION LATENTE ET DÉVELOPPEMENT,
Par A. COURRÈGES.

In-18 jésus; 1898........ 2 fr.

LA RETOUCHE DU CLICHÉ.

Retouche chimique, physique et artistique.
Par A. COURRÈGES.

In-18 jésus; 1898........ 1 fr. 50 c.

LA PRATIQUE DE LA PHOTOTYPOGRAVURE AMÉRICAINE.

Par M. Wilhelm CRONENBERG. — Traduit par M. C. FÉRY.

In-18, avec 66 figures et 13 planches; 1898........ 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens... 32 fr.

Chaque volume se vend séparément........ 16 fr.

Un Supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux, est en préparation.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par M. C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.

Chaque volume se vend séparément 14 *fr.*

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1er *Supplément* (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2e *Supplément* (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble........ 72 fr.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances;

Par M. H. FOURTIER.

2 vol. in-18 jésus.

TOME I. Les Appareils, avec 66 figures; 1892........ 2 fr. 75 c.
TOME II. Les Accessoires. La Séance de projections, avec 67 fig.; 1893. 2 fr. 75 c.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAIS.

In-18 jésus, avec 94 figures et 9 planches ; 1896........................ 5 fr.

LA PLATINOTYPIE. TRAITÉ PRATIQUE,

Par HORSLEY-HINTON,

Traduit par G. DEVANLAY.

In-18 jésus, avec figures et spécimens ; 1898........................ 1 fr. 50 c.

LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties : *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections ;

Par MM. H. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série ; 1892........................ 4 fr.
Deuxième Série ; 1894........................ 3 fr. 50 c.

CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE A L'USAGE DES DÉBUTANTS.

Par M. R.-Ed. LIESEGANG.

Traduit de l'allemand et annoté par le Professeur J. MAUPEIRAL.

In-18 jésus, avec figures ; 1898........................ 3 fr. 50 c.

LE DÉVELOPPEMENT DES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES A NOIRCISSEMENT DIRECT.

Par M. R.-Ed. LIESEGANG. — Traduit de l'allemand par M. V. HASSREIDTER.

In-18 jésus ; 1898........................ 1 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par M. Albert LONDE.

Directeur du Service photographique à l'Hospice de la Salpêtrière,

3e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec figures ; 1897. 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DU DÉVELOPPEMENT.

ÉTUDE RAISONNÉE DES DIVERS RÉVÉLATEURS ET DE LEUR MODE D'EMPLOI.

Par M. Albert LONDE.

3e édition. In-18 jésus, avec figures ; 1898........................ 2 fr. 75 c.

LE PROCÉDÉ A LA GOMME BICHROMATÉE OU PHOTO-AQUATEINTE.

Par MM. Alfred MASKELL et Robert DEMACHY.

Traduit de l'anglais par M. G. DEVANLAY.

In-18 jésus, avec figures ; 1898........................ 1 fr. 75 c.

L'OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.
(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE).
Par M. P. MOËSSARD.

Grand in-8, avec nombreuses figures; 1898........ .... 4 fr.

LES ÉLÉMENTS D'UNE PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE,

Par H.-P. ROBINSON.
Traduit de l'anglais par H. COLARD.

Grand in-8, avec 38 figures d'après des clichés de l'auteur et 1 planche; 1898.. 4 fr.

DE LA PROPRIÉTÉ ARTISTIQUE EN PHOTOGRAPHIE

SPÉCIALEMENT EN MATIÈRE DE PORTRAITS,
Par Édouard SAUVEL, Avocat au Conseil d'État et à la Cour de Cassation.

Un volume in-18 jésus; 1897.................................... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 112 figures................................ 5 fr.

On vend séparément :

Ire PARTIE : Obtention des petits clichés. 2e édition................. (*Sous presse.*)
IIe PARTIE : Agrandissements. 2e édition, avec 60 figures; 1897....... 2 fr. 75 c.

LES ÉPREUVES POSITIVES SUR PAPIERS ÉMULSIONNÉS.

Papiers chlorurés. Papiers bromurés. Fabrication. Tirage et développement. Virages. Formules diverses.

Par M. E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus; 1896.. 2 fr.

LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre;
Par M. Julius VERFASSER.
Traduit de l'anglais par M. E. COUSIN, Secrétaire-agent de la Société française de Photographie.

In-18 jésus, avec 56 figures et 3 planches; 1895.......................... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Sélection photographique des couleurs primaires. Son application à l'exécution de clichés et de tirages propres à la production d'images polychromes à trois couleurs;
Par M. Léon VIDAL,
Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 10 figures et 5 planches en couleurs; 1897..... 2 fr. 75

6429 B. — Paris, Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Gr.-Augustins.

